

Pokusi s računalom iz mehanike u interaktivnoj nastavi

Svoboda, Nikolina

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:371287>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-25**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
MATEMATIČKI ODSJEK

Nikolina Svoboda

**Pokusi s računalom iz mehanike u
interaktivnoj nastavi**

Diplomski rad

Voditelj rada:
dr. sc. Ana Sušac

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad obranjen je dana _____ pred nastavničkim povjerenstvom u sastavu:

1. _____, predsjednik

2. _____, član

3. _____, član

Povjerenstvo je rad ocijenilo ocjenom _____ .

Potpisi članova povjerenstva:

1. _____

2. _____

3. _____

Hvala mojoj mentorici, dr.sc. Ani Sušac, na pomoći i uloženom trudu pri izradi ovog diplomskog rada te razumijevanju i pruženoj podršci.

Hvala svim mojim kolegama i prijateljima koji su bili uz mene i prolazili sa mnom lijepo i one manje lijepo trenutke tijekom mog studiranja.

Hvala mom partneru Tomislavu bez čije pomoći, potpore i razumijevanja ne bi bilo ovog diplomskog rada.

I na kraju najviše hvala mojoj obitelji, posebno mojim roditeljima. Hvala vam na svojoj pruženoj podršci, ljubavi i odricanju. Bez vašeg oslonca, tijekom cijelog mog obrazovanja, bilo bi nemoguće sve ovo postići.

Hvala što ste uvijek vjerovali u mene!

Sadržaj

| | |
|--|----|
| Uvod..... | 1 |
| Pokusi iz kinematike | 4 |
| 1.1. Grafički prikaz pravocrtnog gibanja | 4 |
| 1.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 4 |
| 1.1.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 5 |
| 1.2. Mjerenje ubrzanja slobodnog pada | 15 |
| 1.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 15 |
| 1.2.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 16 |
| 1.3. Mjerenje akceleracije u svakodnevnom životu | 21 |
| 1.3.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 21 |
| 1.3.2. Upute za učenički projekt | 21 |
| 1.3.3. Primjer mjerenja | 22 |
| Newtonovi zakoni | 23 |
| 2.1. Prvi Newtonov zakon | 23 |
| 2.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 23 |
| 2.1.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 24 |
| 2.2. Drugi Newtonov zakon | 33 |
| 2.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 33 |
| 2.2.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 34 |
| 2.3. Treći Newtonov zakon | 44 |
| 2.3.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 44 |
| 2.3.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 46 |
| 2.3.3. Dodatak..... | 50 |

| | |
|---|-----|
| Sila trenja i impuls sile..... | 52 |
| 3.1. Sila trenja..... | 52 |
| 3.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 52 |
| 3.1.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 53 |
| 3.2. Mjerenje impulsa sile | 58 |
| 3.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 58 |
| 3.2.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa..... | 59 |
| Zakoni očuvanja..... | 63 |
| 4.1. Sudari | 63 |
| 4.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 63 |
| 4.1.2. Priprema za interaktivni sat | 65 |
| 4.2. Rad, pretvorbe energije, zakon očuvanja energije | 76 |
| 4.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa..... | 76 |
| 4.2.2. Priprema za interaktivni sat | 78 |
| Osvrti na održane satove i zaključak | 89 |
| Bibliografija | 93 |
| Prilozi..... | 95 |
| Prilog 1: Popis i kratak opis pribora korištenog u pokusima | 95 |
| Sažetak | 103 |
| Summary | 104 |
| Životopis | 105 |

Uvod

Računala se sve češće koriste u školama pa tako i u nastavi fizike. Tehnologija može pomoći kako bi fizika bila razumljivija i atraktivnija većem broju učenika [8]. Računala podižu kvalitetu nastave, ali samo ako se koriste na pravi način. Istraživanja su pokazala da uporaba računala u različitim situacijama ne mora dati jednako zadovoljavajuće rezultate [3]. Nove tehnologije pružaju mogućnosti za stvaranje pogodnog okruženja za učenje koje proširuju mogućnosti starih tehnologija (knjige, ploče..). Također, nove tehnologije pružaju potpuno nove mogućnosti. One se mogu koristiti kao alat za poboljšanje učenja, daju nastavnicima i učenicima više mogućnosti za povratne informacije i razmišljanje, te donose u razred probleme iz svakodnevnog života [1], [4], [5]. Učenici su zainteresirani za teme vezane iz svijeta koji ih okružuje.

Računala u nastavi fizike potrebno je koristiti interaktivno kako učenici ne bi programe koristili metodom pokušaja i pogreške, bez puno intelektualnog angažmana [1]. Računala mogu poslužiti za prikazivanje različitih slika, animacija, simulacija i video klipova. To je izrazito bitno jer većina učenika može bolje razumjeti neki koncept ako ga vizualizira. Simulacije mogu biti korisne za istraživanja jer omogućuju promjene parametara i promatranja rezultata tih promjena. One se koriste u slučajevima kad je izvođenje pokusa nemoguće ili nepraktično [1], [7]. Simulacije razvijaju učeničko razumijevanje fizikalnih pojava i zakona tako što omogućuju izoliranje i promjenu pojedinih parametara i na taj način pomažu učenicima da razviju razumijevanje odnosa između fizikalnih koncepata, varijabli i pojava. Nadalje, one koriste različite načine prikaza (slike, animacije, grafove, numeričke podatke) koji su korisni za razumijevanje

temeljnih pojmova, odnosa i procesa te za istraživanje pojava koje ne bi mogli proučavati u učionici ili praktikumu [1]. Računala imaju različite alate za modeliranje koja pomažu učenicima razumjeti jednadžbe kao fizičke odnose između objekata koje promatramo. Različiti internet alati se koriste zbog međusobne komunikacije, ali i jednostavnijeg pristupa svim vrstama dokumenata i velikim bazama podataka. Konačni cilj obrazovanja je pripremiti učenike za njihovo cjeloživotno učenje a u tome su računala neizbježna [1].

Računala se također koriste prilikom izvođenja pokusa i pomažu lakšem prikupljanju i obradi podataka. Zanimat će nas upravo korištenje računala u pokusima. U školama je još često zastupljena predavačka nastava iako su već 1960-ih i 1970-ih razvijene metode učenja fizike koje kao temelj učenja naglašavaju pokuse. Pokusi pomažu razvoju učeničkog konceptualnog razumijevanja [8]. Učenici prilikom izvođenja pokusa razvijaju vještine potrebne za prikupljanje podataka, sposobnost za organizaciju, komunikaciju i interpretiranje podataka i zapažanja dobivenih eksperimentiranjem, sposobnost donošenja zaključaka te mogućnost prepoznavanja uloge laboratorijskih pokusa i opažanja u razvoju znanstvenih teorija [9]. Korištenje računalnih programa olakšava prikupljanje i analizu podataka, a učenici se mogu koncentrirati na znanstvene ideje koje su cilj njihovog istraživanja [1], [8]. Podatci se prikazuju u digitalnom i grafičkom obliku na zaslonu računala te učenici mogu transformirati podatke u različite oblike (grafičke, tablične) te analizirati podatke, ispisivati grafove i tablice ili spremati podatke za kasniju analizu [9]. Time što je olakšana obrada podataka i učenici s lošijim matematičkim vještinama, lakše mogu doći do zaključaka. Računala pomažu učenicima u prikupljanju podataka s raznih senzora. Neke od tih senzora učenici mogu čak ponijeti kući ili na igralište [1]. To pomaže učenicima da shvate da su problemi u stvarnom svijetu daleko složeniji od pojednostavljenih teorijskih modela te na taj način stječu različite laboratorijske analitičke vještine [1], [9]. Računala u pokusima usmjeravaju učenike na fizički svijet, daju im trenutnu povratnu informaciju, potiču suradnju, smanjuju nepotreban napor te omogućuju učenicima aktivno sudjelovanje u istraživanju čime produbljuju njihovo razumijevanje [8]. Istraživanja pokazuju da učenici imaju poteškoća s grafičkim prikazima, a na računalu se podaci prikazuju grafički te je također moguće prelaziti u različite oblike što pomaže učenicima u interpretiranju grafičkog prikaza [7].

Mehanika je temeljna disciplina u fizici. Istraživanja pokazuju da studenti na prirodoslovnim i tehničkim fakultetima imaju poteškoće s temeljnim konceptima Newtonove mehanike [1], [3]. U Americi je razvijen *Force Concept Inventory* (FCI). FCI je konceptualni test višestrukog izbora koji kao odgovore daje najčešće učeničke predkonceptije [2]. FCI je standardni instrument za mjerenje učinkovitosti nastave fizike u razvijanju konceptualnog razumijevanja mehanike [3]. Na početku svog studija sam i sama rješavala taj test. On je služio profesoru da stekne uvid u predznanje s kojim su studenti došli iz srednje škole. Rezultati cijele generacije su generalno bili dosta loši. To me potaknulo na razmišljanje o nužnosti promjena u načinu poučavanja fizike u većini škola u Republici Hrvatskoj. Često se predavanja u školama svode na prezentiranje nepovezanih znanstvenih činjenica, bez pokušaja razvijanja kritičkog mišljenja i sposobnosti rješavanja problema [9]. Konstruktivistički pristup teži aktivnom sudjelovanju učenika u procesu učenja i korištenju prethodnog znanja u novim situacijama [8]. Najčešći problem u nastavi mehanike je što učenici često samo usvajaju tehnike za rješavanje nekih tipičnih problema, a ne koncentriraju se na razumijevanje temeljnih koncepata [3]. Računala se često navode kao dobra pomoć u rješavanju tih problema.

Cilj ovog diplomskog rada je razviti materijale koji se mogu koristiti prilikom interaktivnog izvođenja pokusa iz mehanike uz pomoć računala. U radu je obrađena kinematika, Newtonovi zakoni, sila trenja i impuls sile te zakoni očuvanja energije i količine gibanja. Dio materijala testiran je u školi, u prvim razredima prirodoslovno-matematičke gimnazije. Svi pokusi su zamišljeni kao demonstracijski zbog pretpostavke da u hrvatskim školama vjerojatno nema dovoljno računala i senzora da učenici mogu raditi u skupinama. Međutim, pokusi se lako mogu modificirati i prilagoditi radu u skupinama. Ideja diplomskog rada je da njegov sadržaj bude pomoć sadašnjim i budućim nastavnicima u pripremanju za izvođenje satova na jedan moderniji način. Većina pitanja smišljenih za interaktivno vođenje sata može se iskoristi i ako se ne koristi računalo nego standardni pribor.

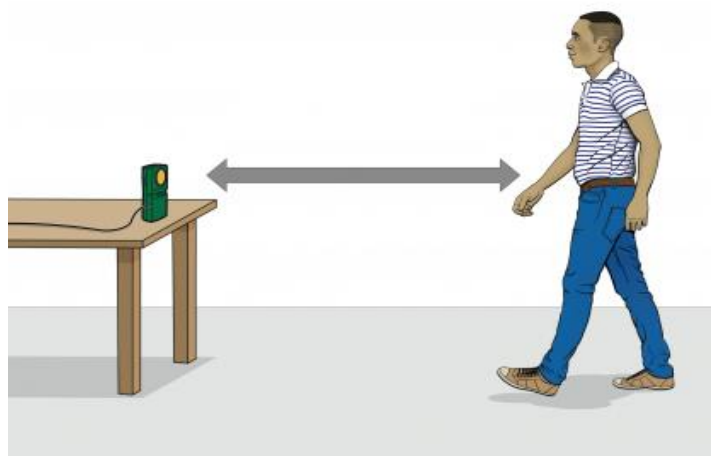
Poglavlje 1

Pokusi iz kinematike

1.1. Grafički prikaz pravocrtnog gibanja

1.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Za izvođenje ovog pokusa potreban nam je detektor gibanja (*Motion Detector*), međusklop i računalo spojeno na projektor. Detektor gibanja spoji se na međusklop koji je spojen na računalo. Osoba čije gibanje snimamo se giba pravocrtno naprijed-nazad ispred detektora gibanja (slika 1.1). Potrebno je osigurati dovoljno prostora za gibanje bez okolnih predmeta o koje bi se ultrazvuk odbijao.



Slika 1.1: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].

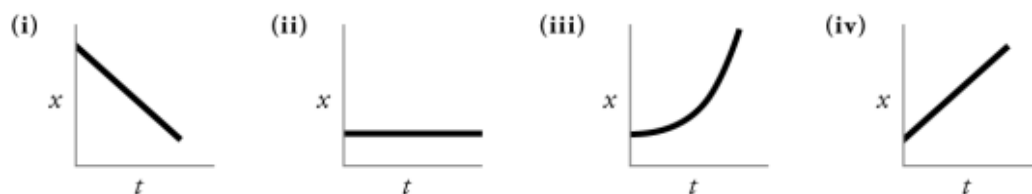
U pokusu 2 je malo teže postići tražene $v - t$ grafove jer detektor prima signale koji se odbijaju od osobe koja korača pa je teško dobiti jednoliku brzinu. Dobivaju se bolji rezultati ako je površina od koju se odbijaju ultrazvučni valovi ravna. To možemo postići

tako da osoba koja se giba stavi ispred sebe neku ravnu ploču ili se ploča može učvrstiti na velika kolica kod kojih je još lakše postići stalnu brzinu ili ubrzanje. Također je dobro na podu označiti udaljenost u metrima.

1.1.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Na početku nastavnik postavlja sljedeća dva pitanja kao uvod u pokuse.¹ Pitanja je najbolje projicirati pomoću računala i projektor. Treba pričekati da svi učenici odgovore, a onda komentirati njihove odgovore.

1. Na slici 1.2 nalaze se četiri $x - t$ grafa od (i) do (iv). Odredite koji od tih grafova odgovora navedenim situacijama od a) do d). Obrazložite odgovor.
 - a) Tijelo miruje.
 - b) Tijelo se giba stalnom brzinom u pozitivnom smjeru.
 - c) Tijelo se giba stalnom brzinom u negativnom smjeru.
 - d) Tijelo ubrzava u pozitivnom smjeru, krenuvši od mirovanja.



Slika 1.2: Prikaz $x - t$ grafova. Preuzeto iz [11].

¹ Učenici su grafički prikaz gibanja radili u osnovnoj školi.

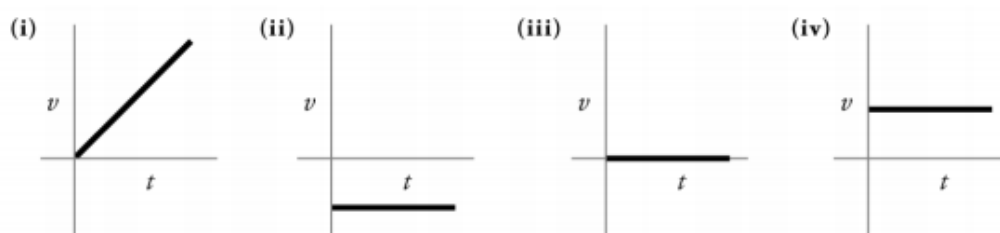
2. Na slici 1.3 nalaze se četiri $v - t$ grafa od (i) do (iv). Odredite koji od tih grafova odgovora navedenim situacijama od a) do d). Obrazložite odgovor.

a) Tijelo miruje.

b) Tijelo se giba stalnom brzinom u pozitivnom smjeru.

c) Tijelo se giba stalnom brzinom u negativnom smjeru.

d) Tijelo ubrzava u pozitivnom smjeru, krenuvši od mirovanja.



Slika 1.3: Prikaz $v - t$ grafova. Preuzeto iz [11].

- Nastavnik s učenicima treba raspraviti koji graf predstavlja koju situaciju. Također, ukoliko su učenici odabrali krivi graf, treba s njima prokomentirati zašto su izabrali taj graf i zašto taj odgovor nije točan. Posebno treba diskutirati gibanje u negativnom smjeru jer učenici u osnovnoj školi to nisu radili.

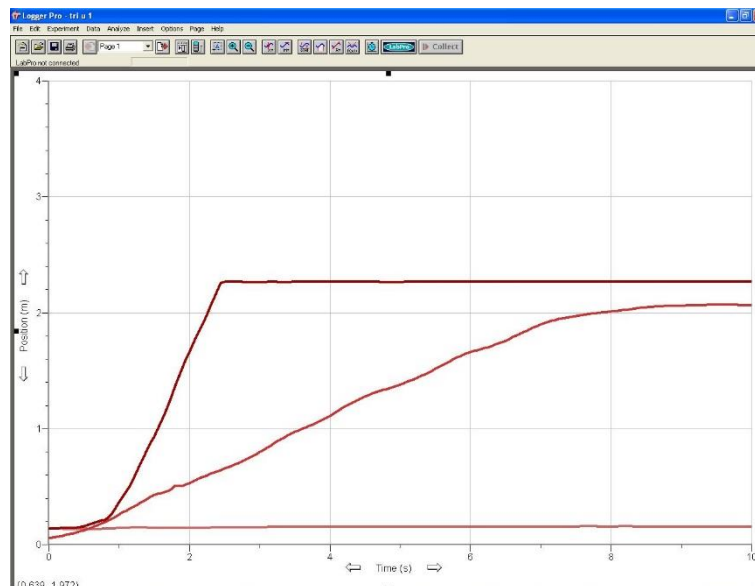
Nastavnik pokazuje i objašnjava pribor potreban za pokus. Jedna učenica, zvat ćemo je Dora, giba se ispred senzora i učenici uočavaju kako se na računalu iscrtavaju $x - t$ i $v - t$ grafovi. Nakon upoznavanja s eksperimentalnim postavom i analizom podataka koje radi računalo, nastavnik uz pomoć učenika izvodi sljedeća dva pokusa.

Pokus 1

Skicirajte kakav ćete $x - t$ odnosno $v - t$ graf dobiti ako prvo stojite, zatim hodate stalnom brzinom i na kraju trčite stalnom brzinom.

- Učenici svoje pretpostavke skiciraju u bilježnicu. Na ovaj način nastavnik dobiva uvid u njihovo predznanje o grafičkim prikazima gibanja.

Dora se giba ispred senzora na opisani način. Na računalu se iscrtavaju $x - t$ i $v - t$ grafovi dok Dora stoji, hoda i trči (slika 1.4).



Slika 1.4: Prikaz $x - t$ gibanja kad Dora stoji, hoda i trči

Jesu li dobiveni grafovi u skladu s vašom pretpostavkom? Usporedite $x - t$ graf za slučajeve kad je Dora stajala, hodala i trčala.

- Učenici opisuju i uspoređuju dobivene grafove.

Kakva je veza između Dorinog gibanja i nagiba pravca u $x - t$ grafu?

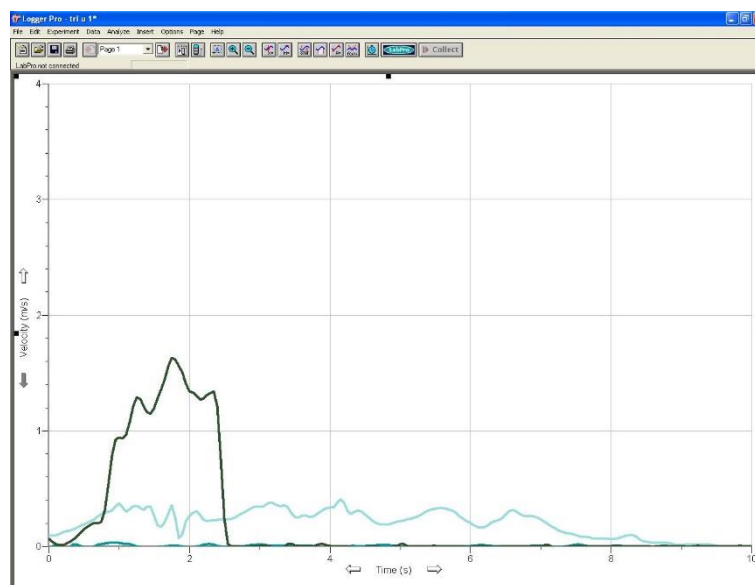
- Učenici će razmisliti postoji li veza, a daljnjim pitanjima nastavnik ih vodi do zaključka da je brzina nagib pravca u $x - t$ grafu.

Kako se Dora gibala kada je nagib pravca u $x - t$ grafu bio 0 (paralelan s t osi)?

- Dora je mirovala (nije se gibala) kada je nagib pravca u $x - t$ grafu 0.

Usporedite Dorinu brzinu u slučaju kad je hodala i kad je trčala. Kako se to vidi na $x - t$ grafu?

- Dorina brzina je bila veća kad je trčala. To se vidi kao veći nagib pravca u $x - t$ grafu.



Slika 1.5: Prikaz $v - t$ gibanja kada Dora stoji, hoda i trči

Promotrimo $v - t$ graf (slika 1.5). Što iz njega možete zaključiti o Dorinoj brzini?

- Brzina je bila prvo nula, zatim je imala neku stalnu vrijednost dok je Dora hodala, a onda neku veću vrijednost dok Dora trčala.

Pokus 2

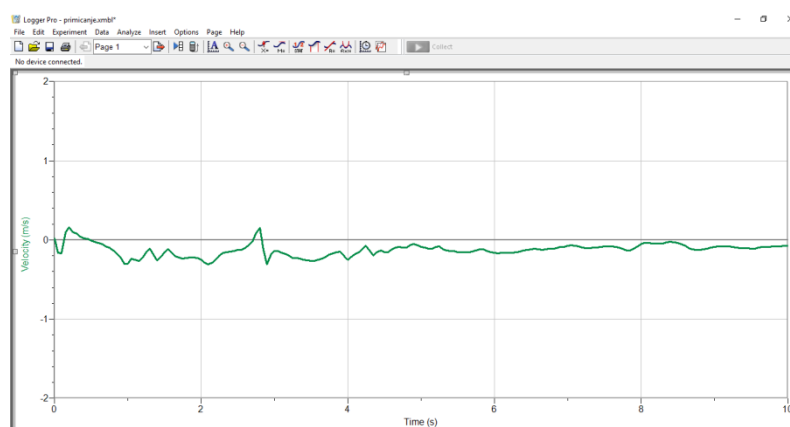
Kako će izgledati $x - t$ i $v - t$ graf ako Dora počne hodati u suprotnom smjeru (prema detektoru)?

- Učenici skiciraju svoje pretpostavke u bilježnice.

Dora ide prema detektoru i računalo crta grafove za to gibanje (slika 1.6 i 1.7).



Slika 1.6: Prikaz $x - t$ grafa kad se Dora giba prema detektoru



Slika 1.7: Prikaz $v - t$ grafa kad se Dora giba prema detektoru

Što uočavate? Kako to tumačite?

- $x - t$ graf je padajući pravac, a brzina u $v - t$ grafu je negativna.

Je li to u skladu sa zaključkom o vezi nagiba pravca i brzine?

- Da, nagib padajućeg pravca je negativan, a i brzina u $v - t$ grafu je negativna.

Kako se Dora gibala kad je nagib pravca u $x - t$ grafu bio pozitivan?

- Dora se gibala od detektora, tj. u pozitivnom smjeru x osi.

Kako se Dora gibala kada je nagib pravca u $x - t$ grafu bio negativan?

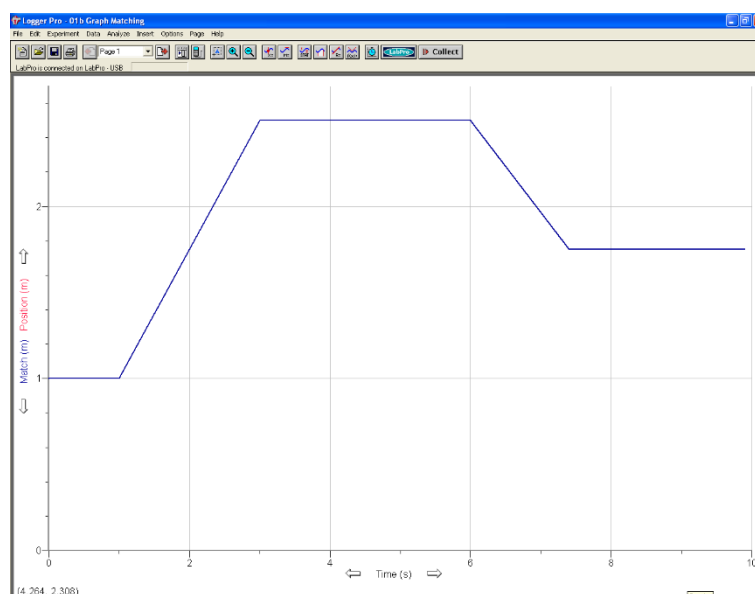
- Dora se gibala prema detektoru, tj. u negativnom smjeru x osi.

Što znači da neko tijelo ima pozitivnu brzinu, a što negativnu?

- Pozitivna brzina znači da se tijelo giba u pozitivnom smjeru x osi, a negativna brzina znači da se tijelo giba u negativnom smjeru x osi.

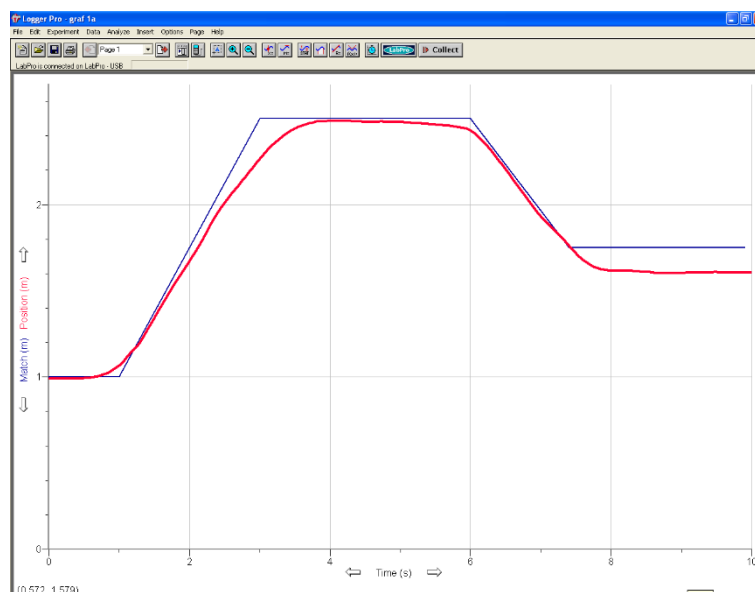
Pokus 3

Nastavnik prikazuje $x - t$ graf određenog pravocrtnog gibanja (slika 1.8).



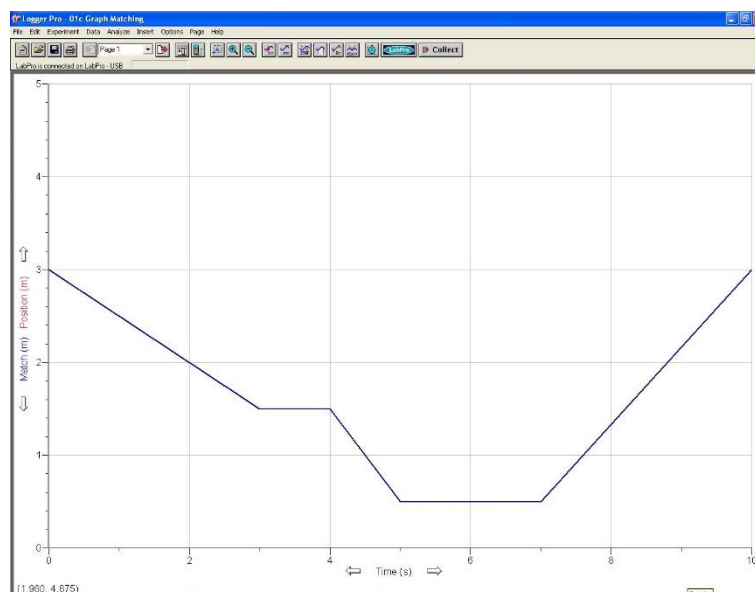
Slika 1.8: Prikaz $x - t$ grafa (primjer 1)

- Opišite riječima gibanje prikazano na slici. Učenici će opisujući graf gibanja riječima sami sebi moći predočiti gibanje.
- Nekoliko učenika se pokušava gibati, tako da njihovo gibanje podudara sa zadanim grafom (slika 1.9). Ovo možemo postaviti kao natjecanje koji učenik će se gibati tako da se njegovo gibanje najbolje poklopi s grafom.



Slika 1.9: Izvedeno gibanje za primjer 1

Nastavnik prikazuje drugi primjer $x - t$ grafa pravocrtnog gibanja (slika 1.10).



Slika 1.10: Prikaz $x - t$ grafa (primjer 2)

- Opišite riječima gibanje prikazano na slici. Učenici opet opisuju graf gibanja riječima.
- Nekoliko učenika se pokušava gibati tako da se njihovo gibanje podudara sa zadanim grafom gibanja (slika 1.11).



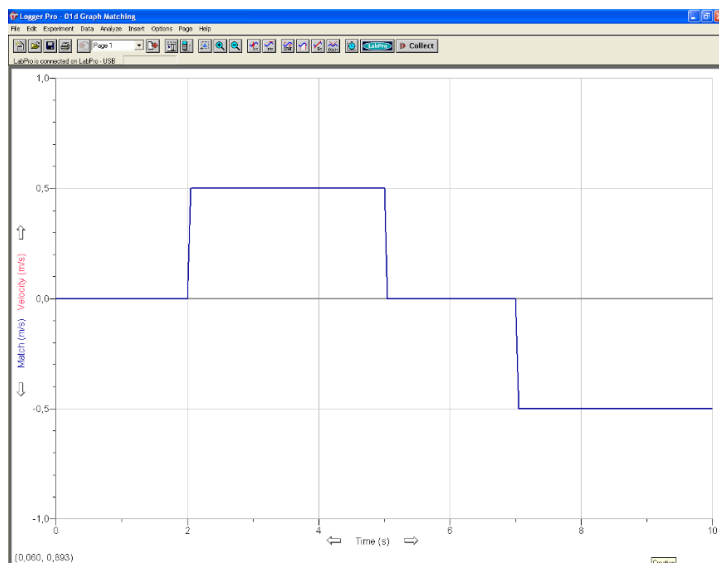
Slika 1.11: Izvedeno gibanje za primjer 2

Skicirajte $v - t$ grafove za izvedeni pokus 2.

- Nastavnik će na ovaj način vidjeti povezuju li učenici prikaze gibanja u $x - t$ i $v - t$ grafu, tj. prelazak iz jednog grafičkog prikaza u drugi.

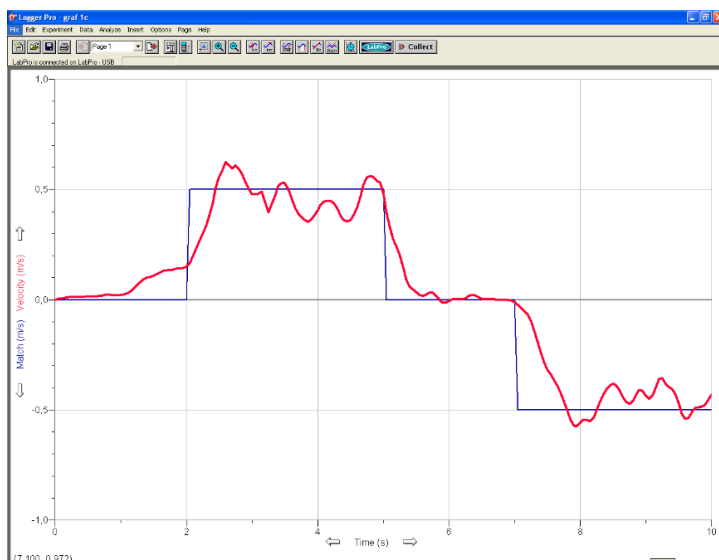
Pokus 4

Nastavnik prikazuje $v - t$ graf određenog jednolikog pravocrtnog gibanja (slika 1.12).



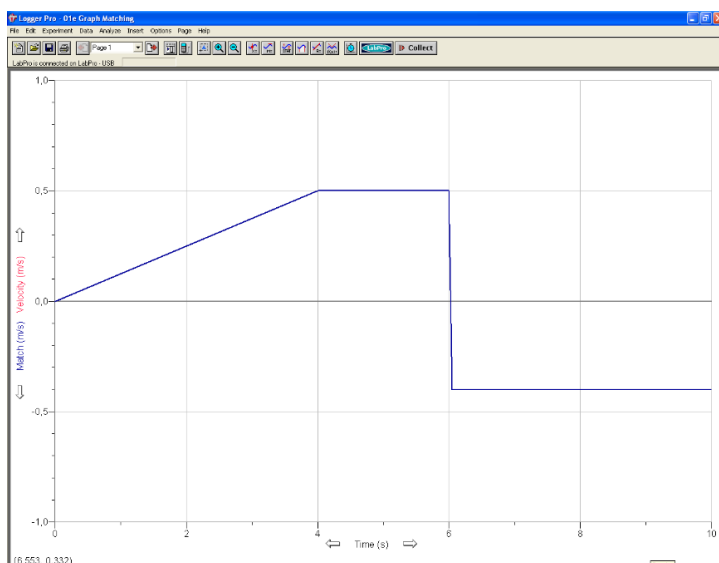
Slika 1.12: Prikaz $v - t$ grafa (primjer 3)

- Opišite riječima gibanje prikazano na slici. Učenici će opisujući graf gibanja riječima sami sebi moći predočiti gibanje.
- Nekoliko učenika se pokušava gibati tako da se njihovo gibanje podudara sa zadanim grafom gibanja (slika 1.13).

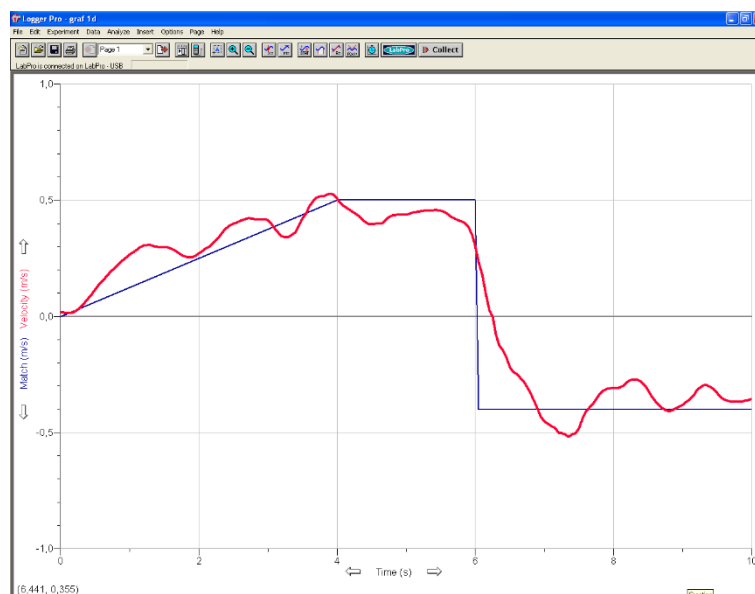


Slika 1.13: Izvedeno gibanje za primjer 3

Ako nema većih poteškoća, nastavnik prikazuje novi $v - t$ graf jednolikog pravocrtnog gibanja i provodi sličnu raspravu kao i s prethodnim primjerom (slika 1.14 i 1.15).



Slika 1.14: Prikaz $v - t$ grafa (primjer 4)



Slika 1.15: Izvedeno mjerenje za primjer 4

Kako ste se gibalili kad je nagib pravca u $v - t$ grafa bio 0 (paralelan s t osi)?

- Gibali su se jednoliko pravocrtno, tj. brzina im je bila konstantna u vremenu.

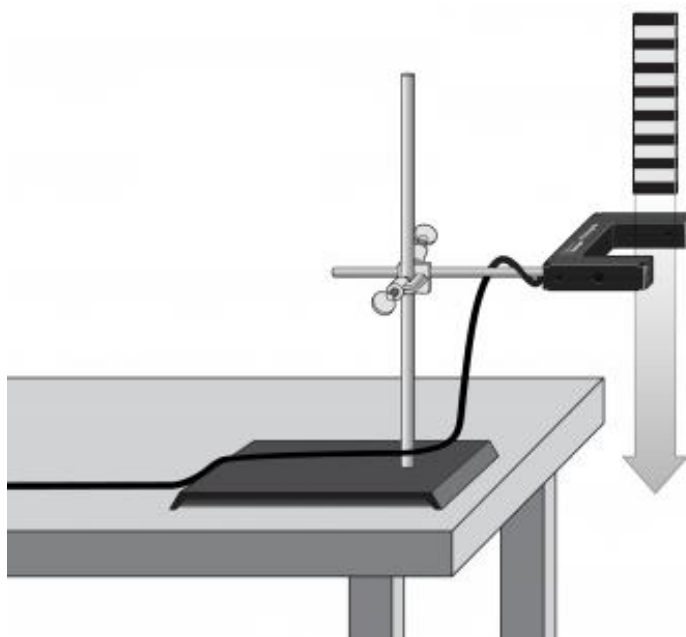
Kako ste se gibalili kad je nagib pravca u $v - t$ grafu bio različit od 0?

- Brzina nije bila konstantna u vremenu, tj. mijenjala se. S učenicima nastavnik može još dodatno raspraviti značenje površine ispod $v - t$ grafa, počevši od slučaja kada je brzina konstantna.

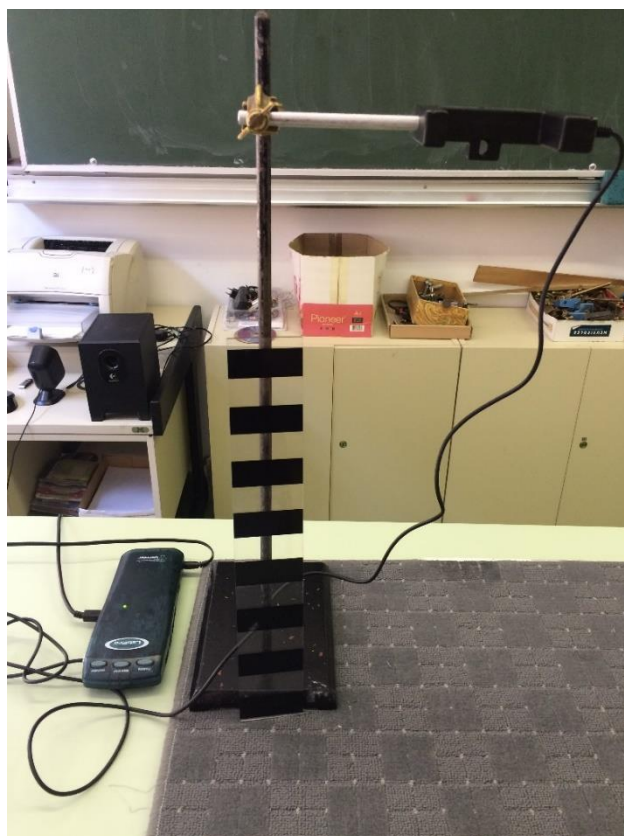
1.2. Mjerenje ubrzanja slobodnog pada

1.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Za izvođenje pokusa potrebni su nam crno-prozirna letva (*Picket Fence*), stalak, svjetlosna vrata, međusklop i računalo spojeno na projektor. Svjetlosna vrata postavimo pomoću stalka na neku visinu koja mora biti veća od visine letve (slike 1.16 i 1.17). Bilo bi dobro da se ispod svjetlosnih vrata nalazi meka podloga da ne bi došlo do oštećenja letve prilikom ispuštanja. Letva ima na sebi prozirne i zatamnjene dijelove. Kad letva prolazi kroz svjetlosna vrata, zatamnjeni dijelovi prekidaju infracrveni snop i mjeri se vrijeme prolaska tih zatamnjenih dijelova kroz svjetlosna vrata. Širina zatamnjenih dijelova je 5 cm. Iz tih podataka se određuje položaj i brzina letve tijekom prolaska kroz svjetlosna vrata i dobivaju točke za crtanje grafova.



Slika 1.16: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].



Slika 1.17: Eksperimentalni postav u praktikumu

1.2.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Nastavnik pokazuje pribor potreban za pokus i opisuje kako se koriste svjetlosna vrata. Razmak između prozirnih dijelova letve (tj. širina zatamnjenih dijelova) je 5 cm. Koja još informacija nam je potrebna da bi izračunali srednju brzinu prolaska zatamnjenog dijela letve kroz svjetlosna vrata?

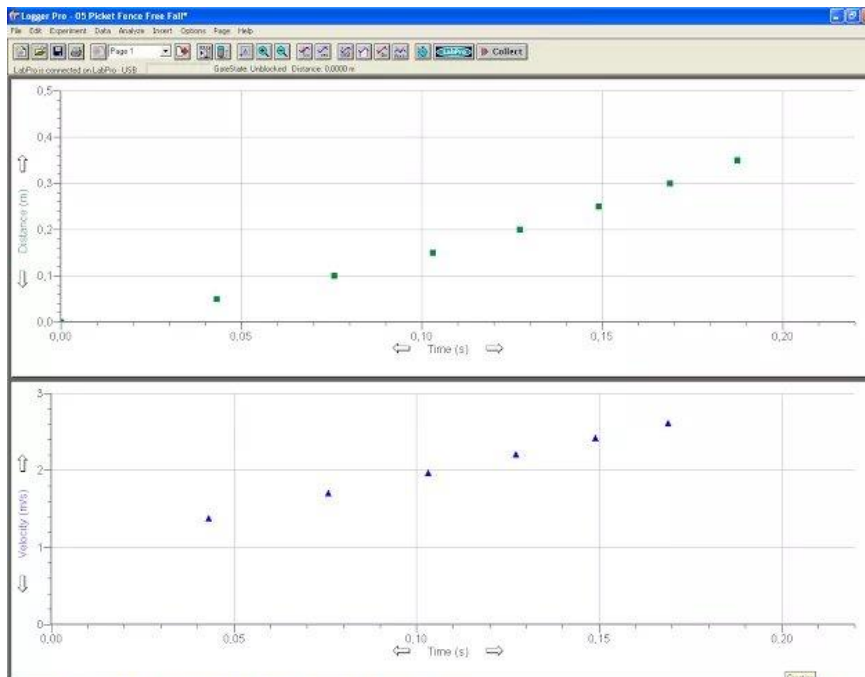
- Potrebno nam je vrijeme.

To vrijeme ćemo odrediti pomoću prekidanja snopa u svjetlosnim vratima. Kako ima više zatamnjenih i prozirnih dijelova dobiva se niz mjerenja.

Skicirajte što pretpostavljate kako će izgledati $x - t$ i $v - t$ graf za slobodni pad letve.

- Učenici skiciraju svoje pretpostavke.

Nastavnik izvodi pokus (slika 1.18).



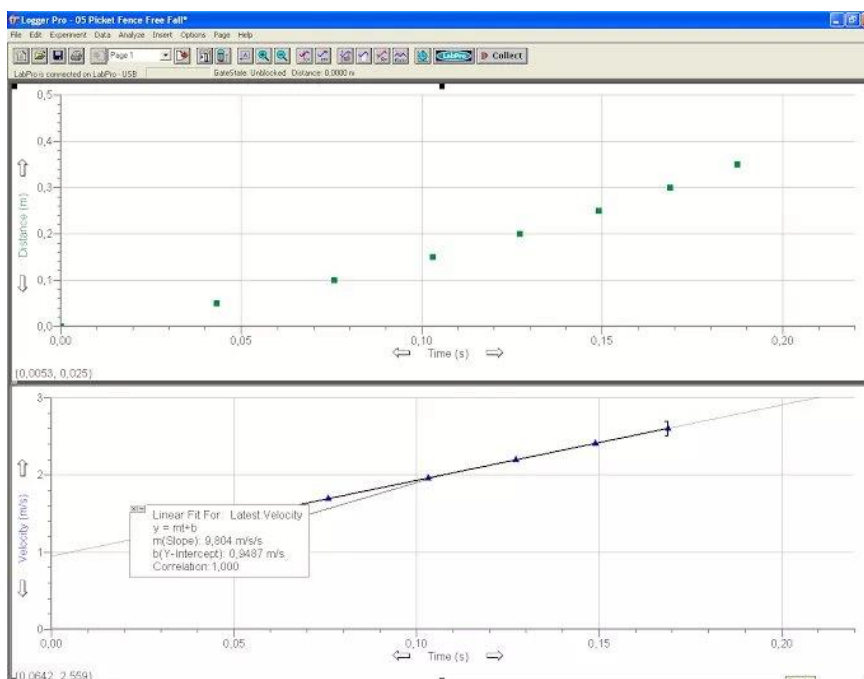
Slika 1.18: Dobiveni prikaz slobodnog pada

Jesu li dobiveni grafovi u skladu s vašom pretpostavkom?

Kako se iz ovih mjerenja i grafova može odrediti akceleracija slobodnog pada?

- Akceleracija je nagib pravca u $v - t$ grafu.

Nastavnik pokaže kako se jednostavno može odrediti nagib pomoću softvera (slika 1.19).



Slika 1.19: Prikaz kako je softver izračunao jednadžbu pravca

Jesmo li dobili dobru vrijednost za akceleraciju slobodnog pada? Koliko iznosi akceleracija slobodnog pada u Zagrebu?

- Učenici se prisjećaju što su učili o akceleraciji slobodnog pada u osnovnoj školi.

Nastavnik uvodi oznaku za akceleraciju slobodnog pada, g .

Je li dovoljno napraviti samo jedno mjerenje?

- S učenicima treba raspraviti da je potrebno raditi više mjerenja zbog različitih izvora pogrešaka.

Kako ćete zapisati rezultate mjerenja u bilježnice?

- U tablicu (tablica 1.1).

Nastavnik napravi više mjerenja.

| N | g/ms^{-1} |
|-----|-------------|
| 1 | 9,804 |
| 2 | 9,822 |
| 3 | 9,811 |
| 4 | 9,819 |
| 5 | 9,825 |
| 6 | 9,801 |

Tablica 1.1: *Primjer ispunjene tablice*

Učenici znaju odrediti srednju vrijednost, ali vjerojatno još nisu određivali pogrešku (iako su vjerojatno raspravljali o postojanju pogreške mjerenja).

S učenicima se na ovom primjeru može raspraviti kako se određuje maksimalno odstupanje i kako se zapisuje konačni rezultat mjerenja. Također se može raspraviti preciznost mjerenja i relativna pogreška.

Kako ćemo odrediti srednju vrijednost?

- Srednju vrijednost računamo tako da zbrojimo sve dobivene rezultate mjerenja i podijelimo s brojem mjerenja.

Treba li pisati sve znamenke koje nam daje kalkulator?

- Ne, treba pisati onoliko znamenki koliko su imala naša mjerenja.

Koju srednju vrijednost dobivate za naša mjerenja?

- Srednja vrijednost je $9,814 \text{ ms}^{-1}$.

Koja se izmjerena vrijednost najviše razlikuje od izračunate srednje vrijednosti?

- $9,801 \text{ ms}^{-1}$

Nastavnik uvodi maksimalno odstupanje kao apsolutnu razliku izmjerene vrijednosti koja se najviše razlikuje od srednje vrijednosti i srednje vrijednosti.

Izračunajte maksimalno odstupanje.

- Maksimalno odstupanje je $0,013 \text{ ms}^{-1}$.

Je li krajnji rezultat mjerenja samo jedan broj? Kako bismo zapisali rezultate našeg mjerenja?

- Kroz raspravu učenici zaključuju da rezultat mjerenja ne može biti samo jedan broj nego da je to interval vrijednosti. Nastavnik uvodi uobičajeni zapis rezultata mjerenja i dogovor da se zapisuje samo jedna značajna znamenka za mjerenja koja će se provoditi na nastavi.

Kako bi zapisali konačni rezultat našeg mjerenja akceleracije slobodnog pada?

- $(9,81 \pm 0,01) \text{ ms}^{-1}$

Kako biste procijenili koliko je naše mjerenje precizno?

- Uz raspravu, nastavnik uvodi relativnu pogrešku kao omjer između maksimalnog apsolutnog odstupanja i srednje vrijednosti svih mjerenja.

Izračunajte preciznost našeg mjerenja.

- Preciznost mjerenja je 0,1%.

1.3. Mjerenje akceleracije u svakodnevnom životu

1.3.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Potreban nam je akcelerometar i međusklop (slika 1.20). Strelica na akcelerometru pokazuje pozitivan smjer mjerenja akceleracije.



Slika 1.20: Pribor za izvođenje pokusa

Ovaj pokus se može napraviti kao učenički projekt. Učenike podijelimo u skupine i svakoj skupini učenika damo da izmjeri neku akceleraciju iz svakodnevnog života, na primjer kod zaustavljanja automobila, na vrtuljak u lunaparku, kod vožnje liftom ili tramvajem, i slično.

1.3.2. Upute za učenički projekt

Ovo su upute koje učenicima dajemo prije izvođenja projekta. Na kraju projekta učenici mogu napisati kratki referat, ali moguće je napraviti i razredni plakat i slično.

Prvo je potrebno da učenici napišu svoje pretpostavke kakvu bi akceleraciju dobili za određeno gibanje te opravdati zašto to očekuju.

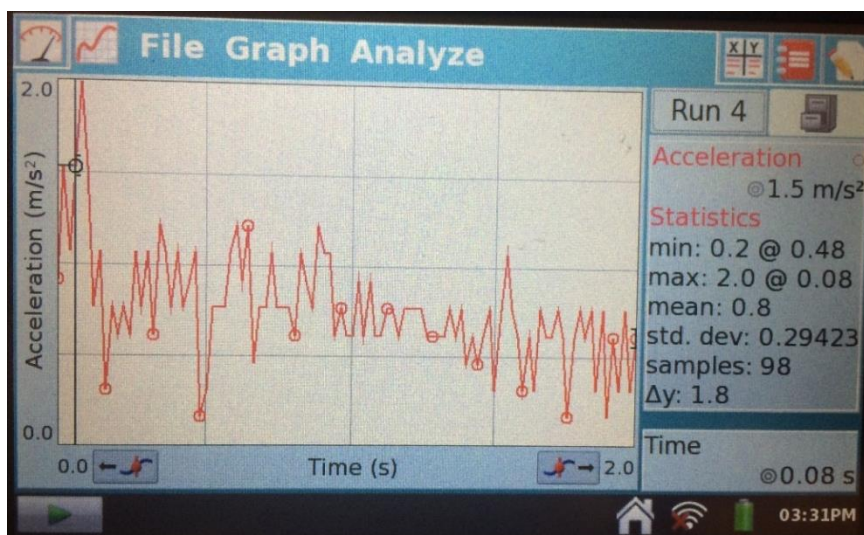
U drugom dijelu učenici mogu opisati što i kako su mjerili.

Potom ide obrada podataka. Učenici mogu snimiti rezultate na sučelju međusklopa i priložiti sliku. Potrebno je da odrede pomoću računala kolika je bila srednja akceleracija, je li akceleracije bila pozitivna ili negativna, te je li tijelo pritom ubrzavalo ili usporavalo.

U zadnjem dijelu učenici mogu kratko diskutirati o tome jesu li njihove pretpostavke bile točne ili ne, te što su novo naučili radeći ovaj projekt.

1.3.3. Primjer mjerenja

Na raspolaganju smo imali akcelerometar 25-g koji ima visoku razinu šuma. Na slici 1.21 je prikazano mjerenje za ubrzanje lifta. Za ova mjerenja bolje je koristiti akcelerometar s nižom razinom šuma (*Low-g Accelerometer*).



Slika 1.21: *Primjer akceleracije kada se lift giba prema dolje*

Poglavlje 2

Newtonovi zakoni

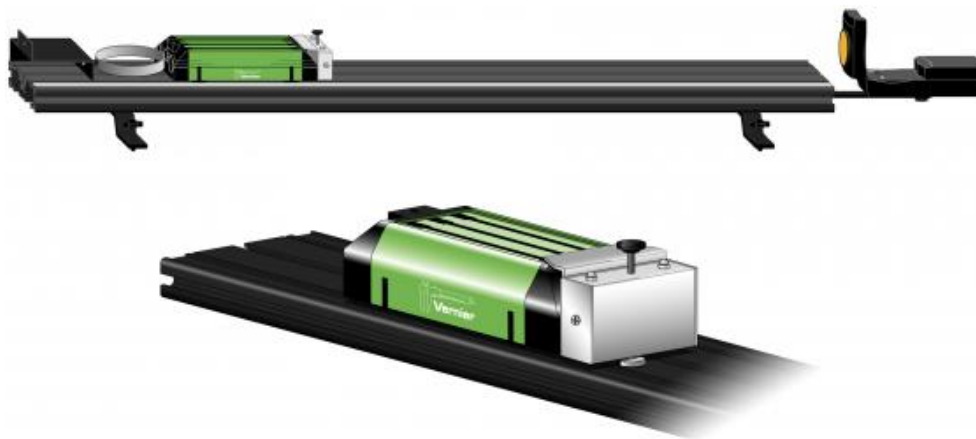
2.1. Prvi Newtonov zakon

2.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Za izvođenje pokusa potrebni su opruga, kolica, klupa, detektor gibanja (*Motion Detector*), podloga s trenjem (*Friction Pad*), međusklop i računalo spojeno na projektor. Pribor je prikazan na slici 2.1, a eksperimentalni postav na slikama 2.2 i 2.3. Pomoću kolica se sabije opruga i pusti da se kolica gibaju. Bitno je da se prilikom svakog izvođenja mjerenja opruga otprilike jednako sabije zbog kontrole varijabli. Podloga s trenjem se spoji na kolica. Trenje smanjujemo pomoću crnog kotačića na vrhu podloge.



Slika 2.1: Pribor za izvođenje pokusa



Slika 2.2: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].



Slika 2.3: Eksperimentalni postav u praktikumu

Akceleraciju određujemo pomoću softvera kao nagib pravca na dijelu $v - t$ grafa gdje dolazi do usporavanja.

Ovaj pokus se može koristiti kao istraživački pokus prilikom uvođenja prvog Newtonovog zakona.

2.1.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Što mislite kako bi se tijelo gibalo ako je ukupna sila na njega jednaka nuli?

- Nastavnik prikuplja učeničke ideje. Moguće je da neki učenici imaju miskoncepciju da tijelo može samo mirovati, ako je ukupna sila na tijelo nula.

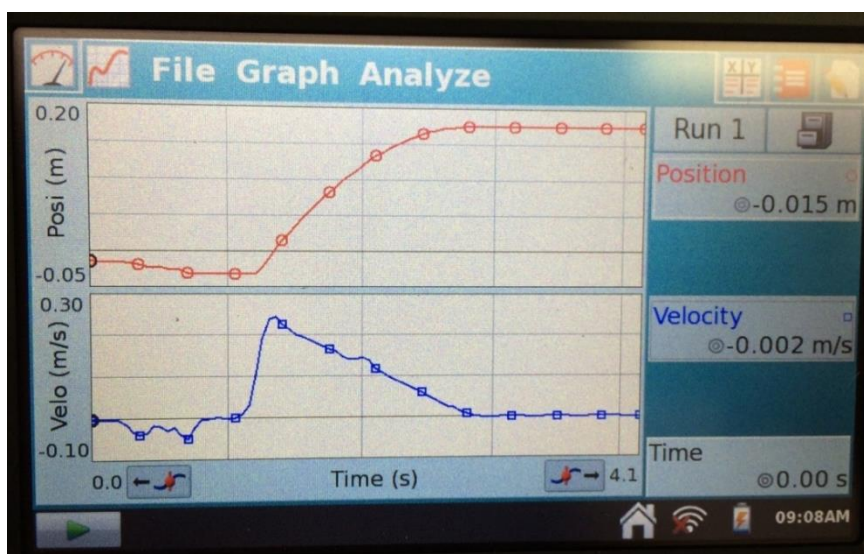
Nastavnik pokaže pribor koji imaju na raspolaganju te objasni čemu služi podloga s trenjem, tj. kako se povećava, odnosno smanjuje trenje.

Nastavnik pomoću kolica sabije oprugu i pusti da se kolica gibaju.

Opišite gibanje kolica i skicirajte $x - t$ i $v - t$ grafove u bilježnice.

- Učenici skiciraju svoje pretpostavke.

Nastavnik opet izvodi demonstracijski pokus tako da je podloga s trenjem namještena da trenje bude najveće. Kad se na računalu nacrtaju $x - t$ i $v - t$ grafovi (slika 2.4), prvo slijedi razredna diskusija.



Slika 2.4: Prikaz sučelja za veliko trenje

Povežite pojedine dijelove gibanja kolica s dobivenim grafovima.

- Učenici uočavaju dio $v - t$ grafa gdje su kolica bila akcelerirana zbog djelovanja opruge i dio grafa gdje su kolica usporavala do zaustavljanja.

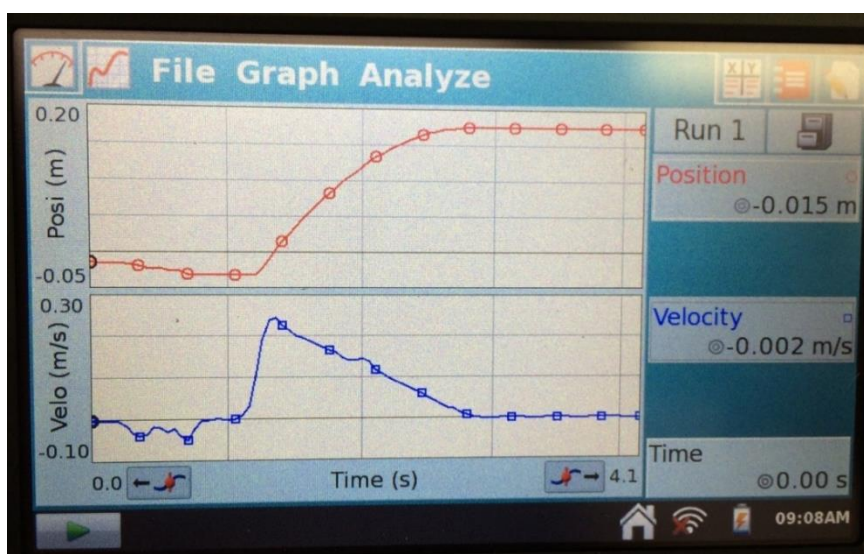
Kako se tijelo gibalo? Što mislite je li usporavanje bilo jednoliko ili nejednoliko?

- Želimo da učenici uoče da je tijelo usporavalo, a potom i da je to bilo jednoliko usporeno gibanje.

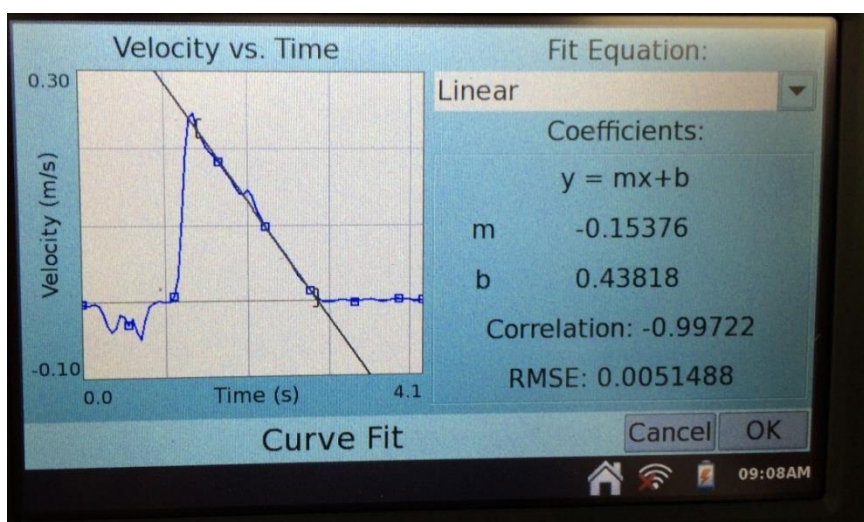
Kako znate da je tijelo usporavalo jednoliko? Kako izgleda $v - t$ graf za jednoliko usporeno gibanje ako je tijelo na početku imalo početnu brzinu?

- Učenici će doći do zaključka da se tijelo giba jednoliko usporeno jer dio $v - t$ grafa koji označava period kad je tijelo usporavalo podsjeća na padajući pravac, tj. brzina se smanjuje za isti iznos u istim vremenskim intervalima.

Nastavnik potom kaže da možemo onda taj dio grafa označiti i aproksimirati ga pravcem (slike 2.5 i 2.6).



Slika 2.5: Prikaz sučelja za veliko trenje



Slika 2.6: Određivanje akceleracije za prvo izvođenje pokusa

Što označava nagib pravca u $v - t$ grafu?

- Učenici se prisjećaju da je nagib pravca u $v - t$ grafu zapravo akceleracija.

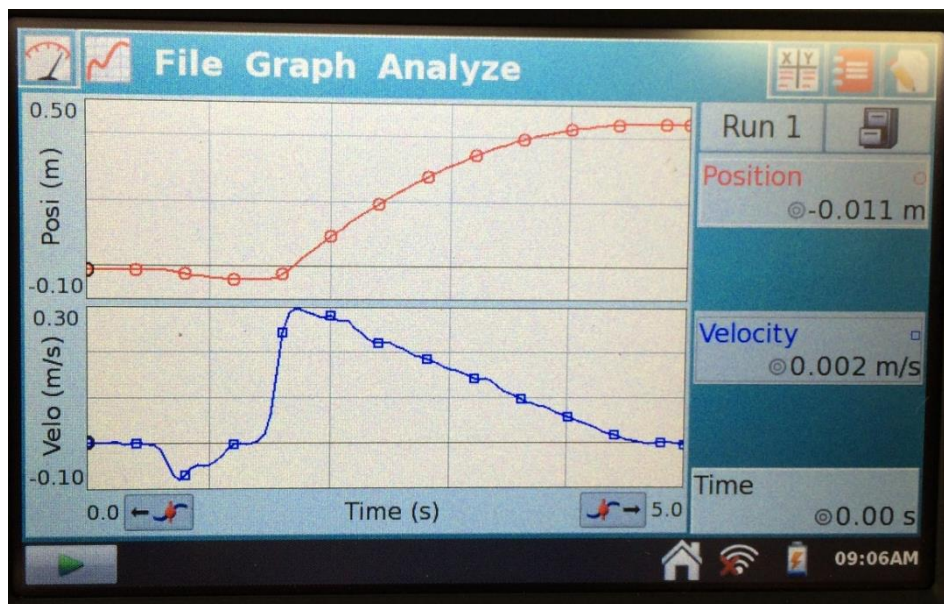
Učenici očitavaju iznos akceleracije iz nagiba pravca.

Nastavnik potom ponavlja pokus, ali sad smanji trenje (slika 2.7).

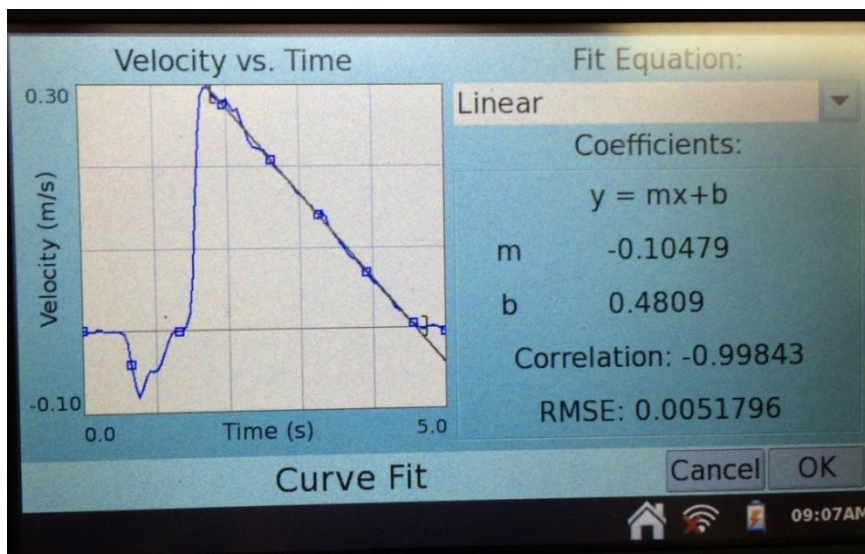
Kako trebamo sabiti oprugu u drugom mjerenju? Zašto?

- Trebamo je sabiti jednako kao u prvom mjerenju zbog kontrole varijabli.

Učenici opet očitavaju akceleraciju (slika 2.8).



Slika 2.7: Prikaz sučelja za drugo mjerenje



Slika 2.8: Određivanje akceleracije za drugo mjerenje

Koja je razlika između prvog i drugog pokusa?

- Smanjili smo trenje između kolica i klupe.

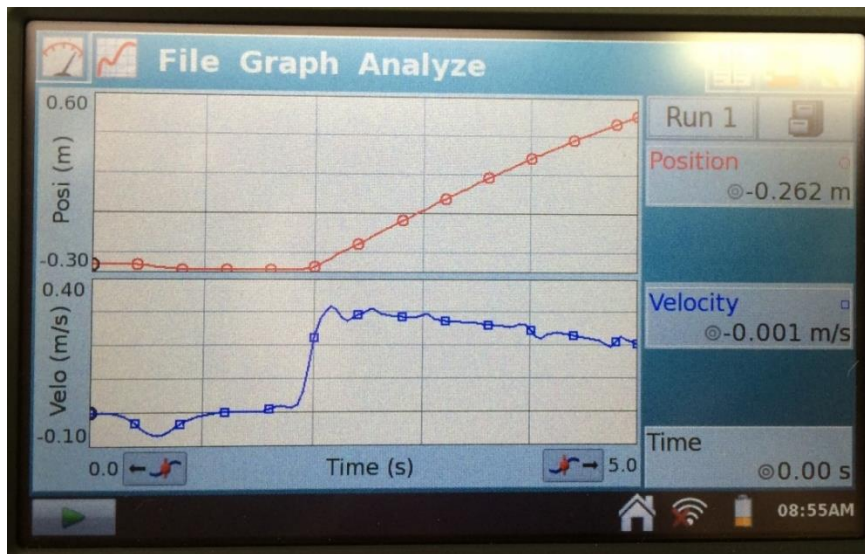
Što se dogodilo s nagibom $v - t$ grafa?

- Nagib grafa se smanjio.

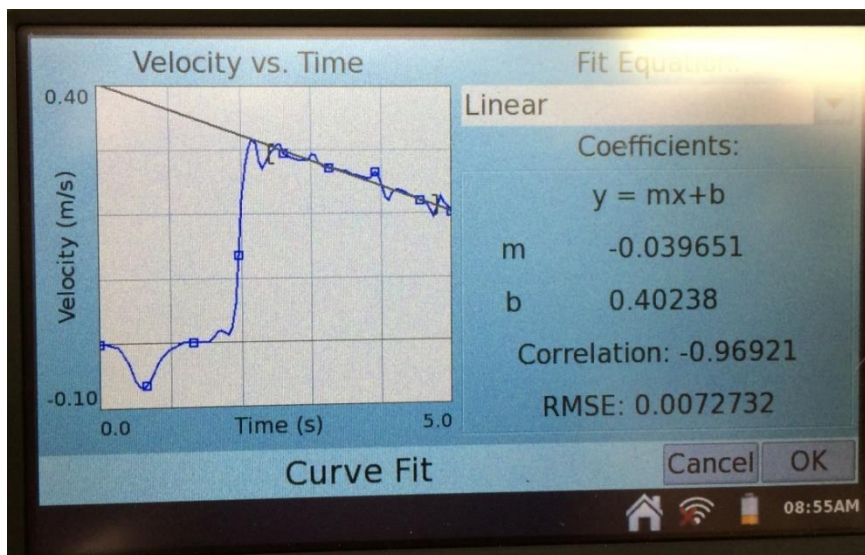
Što se dogodilo s iznosom akceleracije?

- Iznos akceleracije se također smanjio. U prvom mjerenju akceleracija je iznosila $0,15 \text{ m/s}^2$, a u drugom mjerenju $0,10 \text{ m/s}^2$.

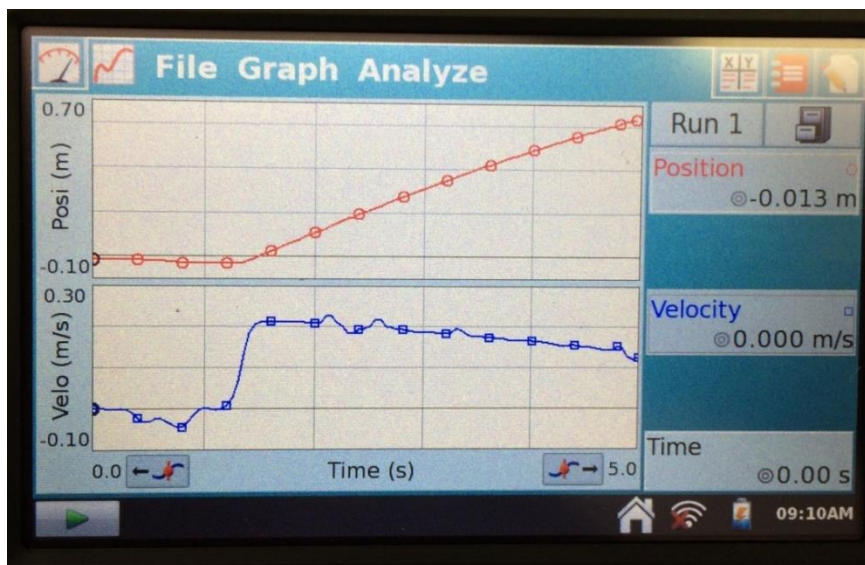
Potom nastavnik izvodi još nekoliko mjerenja sve više smanjujući iznos sile trenja (slike 2.9, 2.10, 2.11 i 2.12).



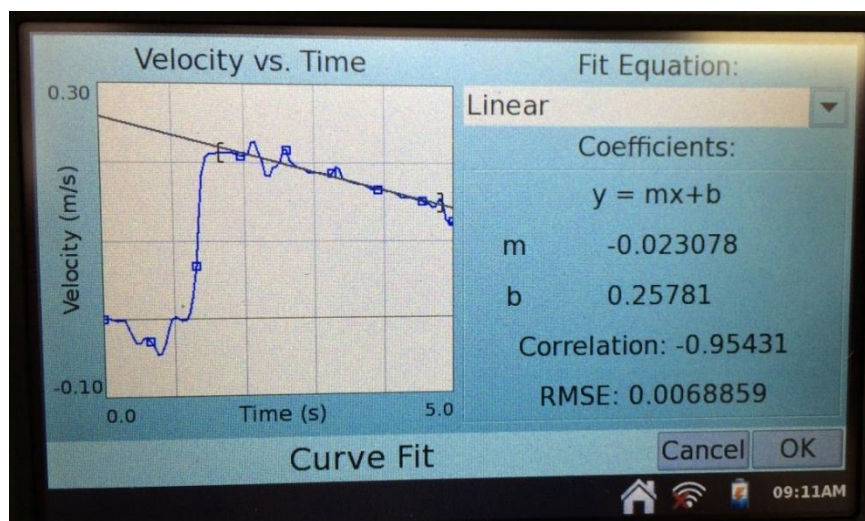
Slika 2.9: Prikaz sučelja za treće mjerenje



Slika 2.10: Određivanje akceleracije za treće mjerenje



Slika 2.11: Prikaz sučelja za četvrto mjerenje



Slika 2.12: Određivanje akceleracije za četvrto mjerenje

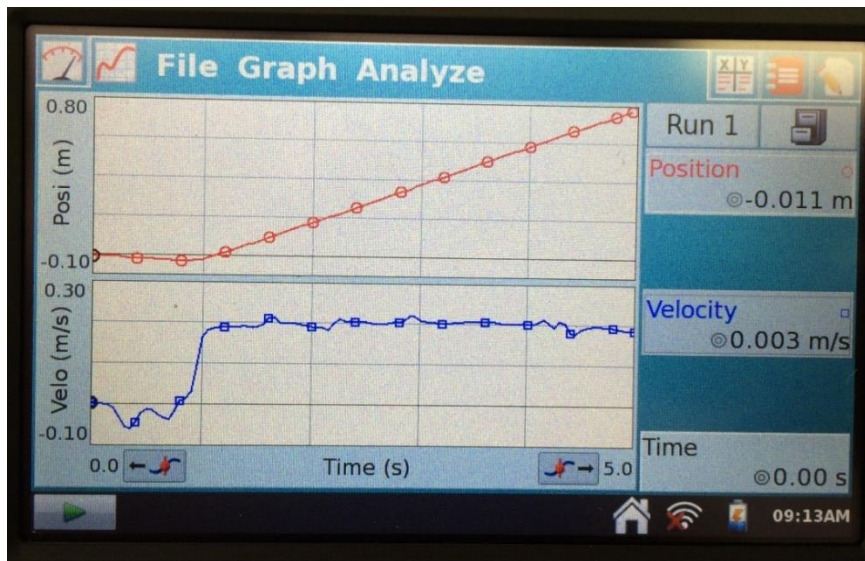
Što uočavate?

- Nagib grafa, tj. akceleracija, se smanjivala kako smo smanjivali silu trenja.

Kakvo će biti gibanje kolica ako nema trenja?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Potom nastavnik izvodi pokus bez podloge za trenje (slika 2.13).



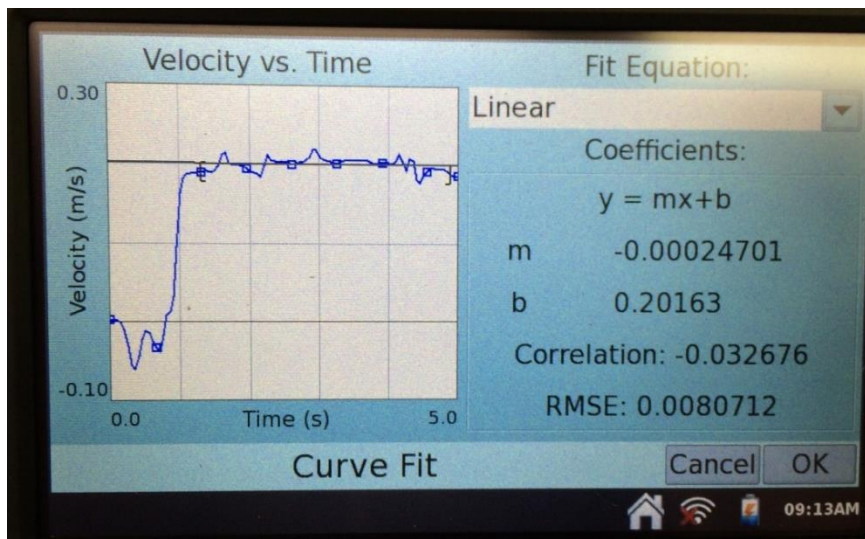
Slika 2.13: Prikaz sučelja za mjerenje bez podloge za trenje

Što se sad dogodilo s gibanjem kolica?

- Kolica se nisu usporila nego su se nastavila gibati.

Kakav je sad nagib pravca?

- Dobiva se skoro paralelan pravac s x -osi, tj. nagib pravca je nula (slika 2.14).



Slika 2.14: Određivanje akceleracije za mjerenje bez trenja

Koje sile djeluju na kolica nakon što su se odbila od opruge?

- Na kolica djeluju sila teže i sila podloge.

Kakve su te dvije sile po iznosu?

- Sila teže i sila podloge su jednake po iznosu.

Kakav je smjer te dvije sile?

- Sile su suprotnog smjera.

Djeluju li neke sile u horizontalnom smjeru?

- U horizontalnom smjeru ne djeluju sile.

Kolika je ukupna sila na tijelo?

- Ukupna sila je nula jer je zbroj sile teže i sile podloge jednak nuli.

Što možete reći o gibanju tijela kad je ukupna sila na kolica jednaka nuli?

- Ako je ukupna sila na tijelo jednaka nuli, tijelo se giba jednoliko pravocrtno.

Kolika je ukupna sila na tijelo koje miruje?

- Ukupna sila na tijelo koje miruje je nula.

Što onda možemo zaključiti o tijelu ako je ukupna sila na njega nula?

- Ako je ukupna sila na tijelo jednaka nuli, tijelo miruje ili se giba jednoliko pravocrtno.

Nastavnik kaže da je do tog zaključka došao i Newton, i da se to naziva prvi Newtonov zakon.

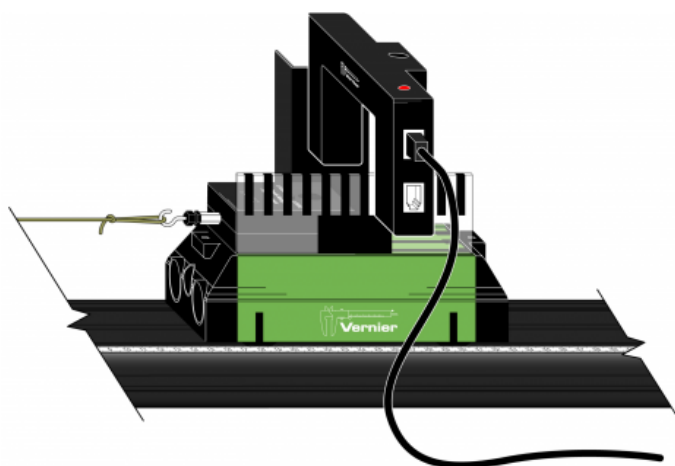
2.2. Drugi Newtonov zakon

2.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Pribor potreban za izvođenje pokusa su svjetlosna vrata, kolica, letva za kolica, klupa, utezi, debeli konac, kolotur, međusklop i računalo spojeno na projektor. Pribor potreban za izvođenje pokusa prikazan je na slici 2.15, a eksperimentalni postav na slici 2.16.



Slika 2.15: Pribor potreban za izvođenje pokusa



Slika 2.16: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].

Bitno je da u pokusu koristimo utege male mase jer mi zapravo određujemo akceleraciju sustava kolica-uteg. Kada mijenjamo silu mijenjajući masu utega, mijenjamo i masu sustava kolica-uteg. Ako je masa utega mala u odnosu na masu kolica možemo zanemariti promjenu mase sustava kolica-uteg.

U prvom dijelu pokusa imamo samo kolica koja su spojena s utezima preko konca kojeg prebacimo preko kolotura. Na kolica spojimo letvu za kolica i kad ona prolazi kroz svjetlosna vrata na računalo se crtaju $x - t$ i $v - t$ grafovi. Akceleraciju određujemo kao nagib pravca u $v - t$ grafu.

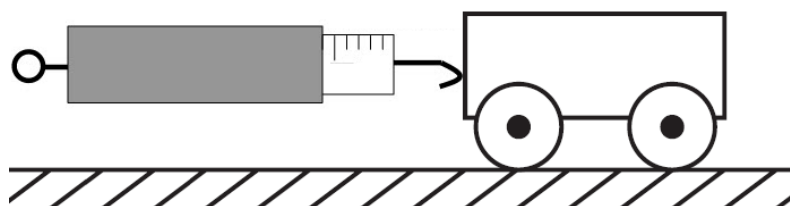
2.2.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Kako se tijelo giba pod utjecajem stalne sile?

- Učenici iznose svoje ideje. Učenici najčešće povezuju stalnu silu sa stalnom brzinom, a ne stalnom akceleracijom.

Kako bismo mogli istražiti gibanje tijela pod utjecajem stalne sile u razredu?

- Učenici iznose svoje ideje. Ako je moguće, mogu isprobati pokus s dinamometrom i kolicima u kojem pokušavaju vući kolica stalnom silom (slika 2.17). Uočavaju da gibanje ne može biti jednoliko, nego treba biti jednoliko ubrzano.



Slika 2.17: Prikaz kako pomoću dinamometra vučemo kolica

O čemu ovisi gibanje tijela ako na njega djelujemo stalnom silom? Kako to možemo mjeriti?

- Nastavnik pohvali učeničke ideje. Potom učenicima pokazuje pribor koji imaju na raspolaganju (svjetlosna vrata, klupu, letvu za kolica, kolica, kolotur, utege i međusklop i računalo). Kroz raspravu učenici dolaze do zaključka da uteg treba

spojiti koncem preko kolotura na kolica. Sila napetosti niti će djelovati na kolica, a njihovu brzinu ćemo mjeriti pomoću svjetlosnih vrata.

Nastavnik izvodi pokus. Računalo crta $v - t$ graf (slika 2.18).

Kakav je izgled $v - t$ grafa?

- $v - t$ graf je kosi pravac.

Što možete reći kakvo je gibanje kolica pod utjecajem stalne sile?

- Iz izgleda $v - t$ grafa učenici zaključuju da se kolica gibaju jednoliko ubrzano. Akceleraciju možemo odrediti kao nagib pravca u $v - t$ grafu.

O čemu ovisi akceleracija?

- Učenici iznose svoje ideje. Najvjerojatnije će uočiti da ovisi o sili.

Kako to možemo provjeriti?

- Učenici sami smišljaju pokus.

Na što moramo paziti?

- Učenici znaju da moraju kontrolirati varijable, tj. ako smo promijenili silu da sve ostalo u pokusu mora ostati isto.

Kako možemo organizirati izmjerene veličine?

- U tablicu (tablica 2.1).

| F/N | a/ms^{-1} |
|-------|-------------|
| 0,25 | 0,29 |
| 0,50 | 0,48 |
| 0,75 | 0,64 |
| 1,00 | 0,70 |

Tablica 2.1: *Primjer popunjene tablice*

Nastavnik izvodi pokus s utegom mase 25 g.

Koja sila djeluje na kolica? Koliko ona iznosi?

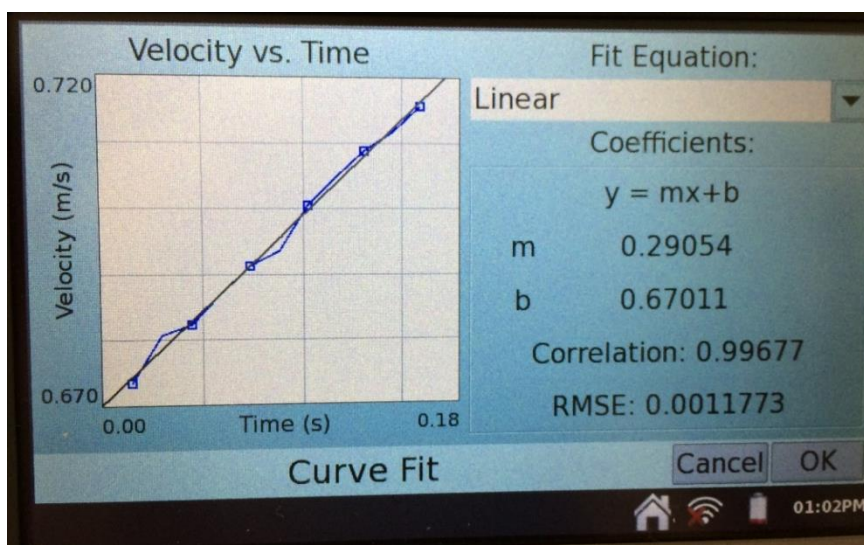
- Na kolica djeluje napetost niti, a ona je po iznosu jednaka težini utega. Ako uteg ima masu 25 g, onda je sila 0,25 N. Učenici upisuju tu vrijednost u tablicu.

Kolika je akceleracija kolica?

- Učenici očitavaju akceleraciju iz nagiba pravca u $v - t$ grafu te očitanu vrijednost upisuju u tablicu (slika 2.19).



Slika 2.18: Prikaz sučelja nakon izvođenja prvog mjerenja



Slika 2.19: Izračunat nagib pravca za prvo mjerenje

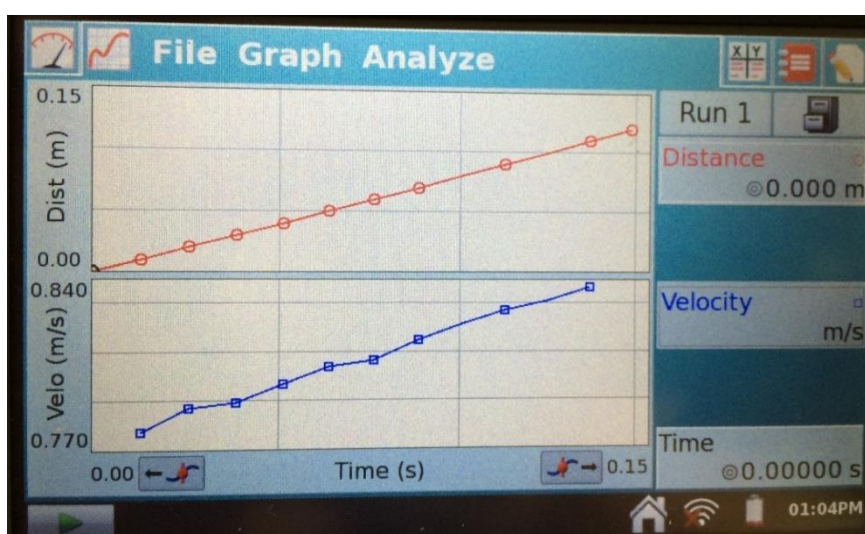
Potom nastavnik izvodi pokus s dva utega mase 25 g (slika 2.20).

Kolika sila djeluje na kolica?

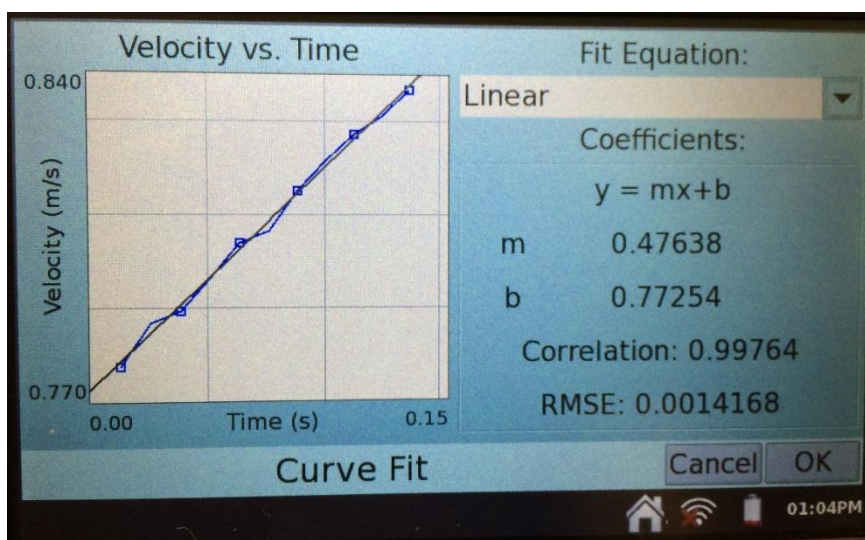
- 0,50 N i tu vrijednost upisuju u tablicu (tablica 2.1).

Kolika je akceleracija?

- Učenici očitavaju akceleraciju iz nagiba pravca u $v - t$ grafu (slika 2.21) te očitanu vrijednost upisuju u tablicu (tablica 2.1).



Slika 2.20: Prikaz sučelja nakon izvođenja drugog mjerenja



Slika 2.21: Izračunat nagib pravca za drugo mjerenje

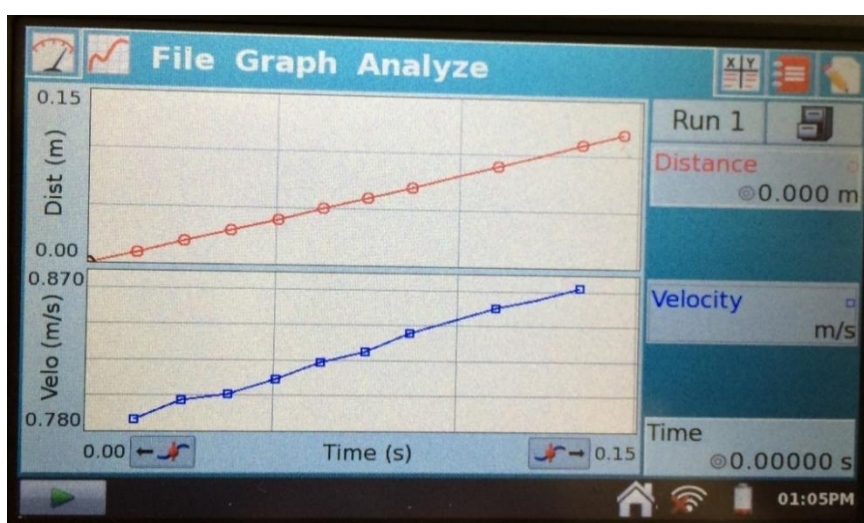
Potom nastavnik izvodi pokus s tri utega mase 25 g (slika 2.22).

Kolika sila djeluje na kolica?

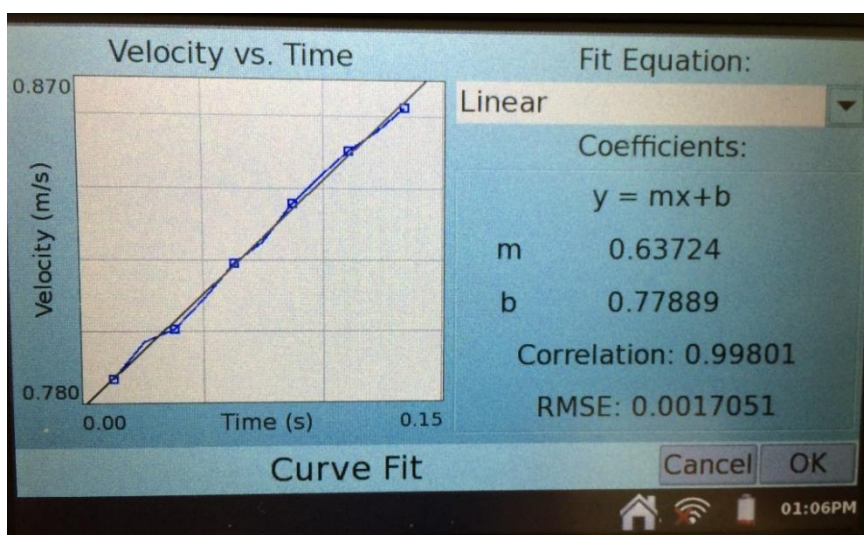
- 0,75 N i tu vrijednost upisuju u tablicu.

Kolika je akceleracija?

- Učenici očitavaju akceleraciju iz nagiba pravca u $v - t$ grafu (slika 2.23) te očitanu vrijednost upisuju u tablicu (tablica 2.1).



Slika 2.22: Prikaz sučelja nakon izvođenja trećeg mjerenja



Slika 2.23: Izračunat nagib pravca za treće mjerenje

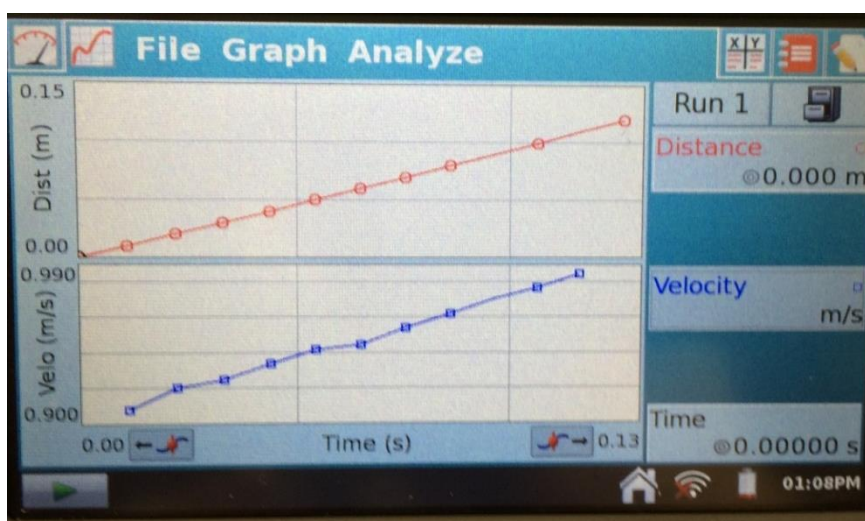
Potom nastavnik izvodi pokus s četiri utega mase 25 g (slika 2.24).

Kolika sila djeluje na kolica?

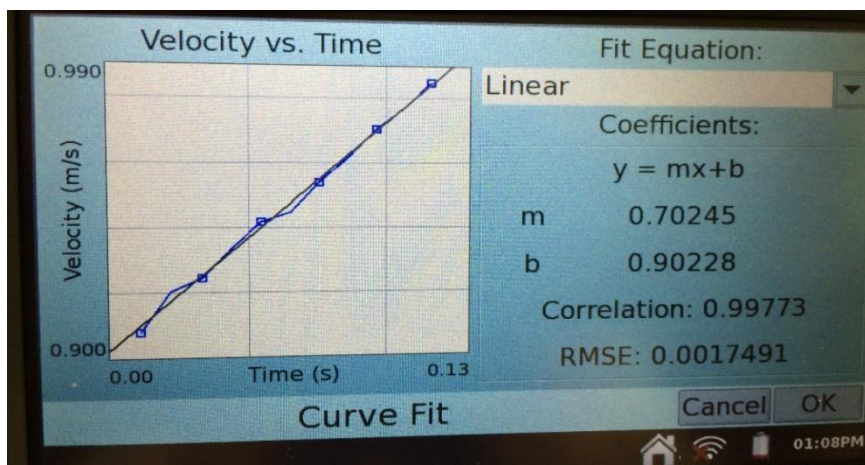
- 1,00 N i tu vrijednost upisuju u tablicu.

Kolika je akceleracija?

- Učenici očitavaju akceleraciju iz nagiba pravca u $v - t$ grafu (slika 2.24) te očitanu vrijednost upisuju u tablicu (tablica 2.1).



Slika 2.24: Prikaz sučelja nakon izvođenja četvrtog mjerenja



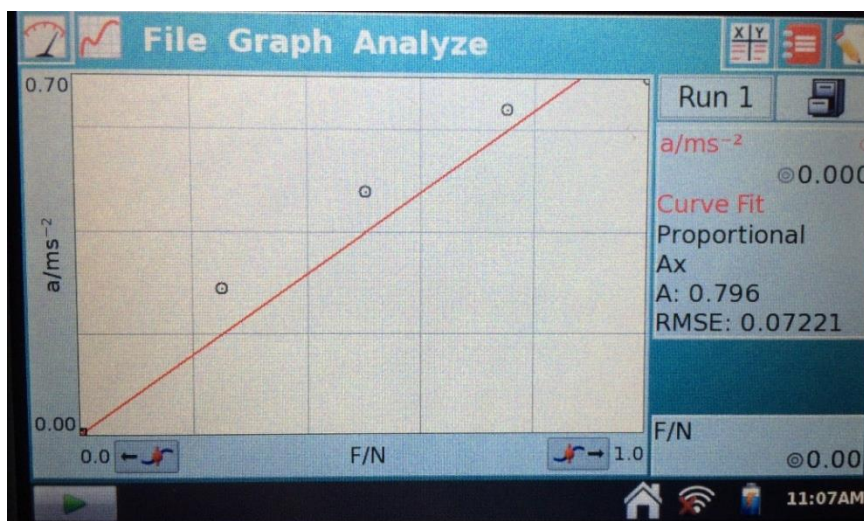
Slika 2.25: Izračunat nagib pravca za četvrto mjerenje

Ako je sila 0 N, kolika je akceleracija?

- Akceleracija je 0 m/s². Učenici uočavaju da mogu dodati te vrijednosti u tablicu.

Što možete zaključiti na osnovi podataka iz tablice?

- Što se više povećavala sila i akceleracija kolica se povećavala.



Slika 2.26: Graf akceleracije u ovisnosti o sili

Što možete zaključiti iz grafa prikazanog na slici 2.26?

- Akceleracija je proporcionalna sa silom.

O čemu bi još mogla ovisiti akceleracija gibanja kolica?

- O masi kolica.

Kako možemo povećati masu kolica?

- Na kolica stavimo uteg.

Na što moramo paziti?

- Učenici ponovno dolaze do zaključka da moraju kontrolirati varijable, tj. da ako mijenjamo masu kolica, sila mora biti jednaka cijelo vrijeme. Na primjer, uzet ćemo silu 1 N.

Kako možemo organizirati izmjerene podatke?

- U tablicu (tablica 2.2).

| m/kg | a/ms^{-2} |
|---------------|--------------------|
| 0,514 | 0,70 |
| 1,034 | 0,35 |

Tablica 2.2: *Primjer popunjene tablice*

- Jedan od učenika izvaže kolica te kolica i uteg zajedno. Učenici podatke upisuju u tablicu.

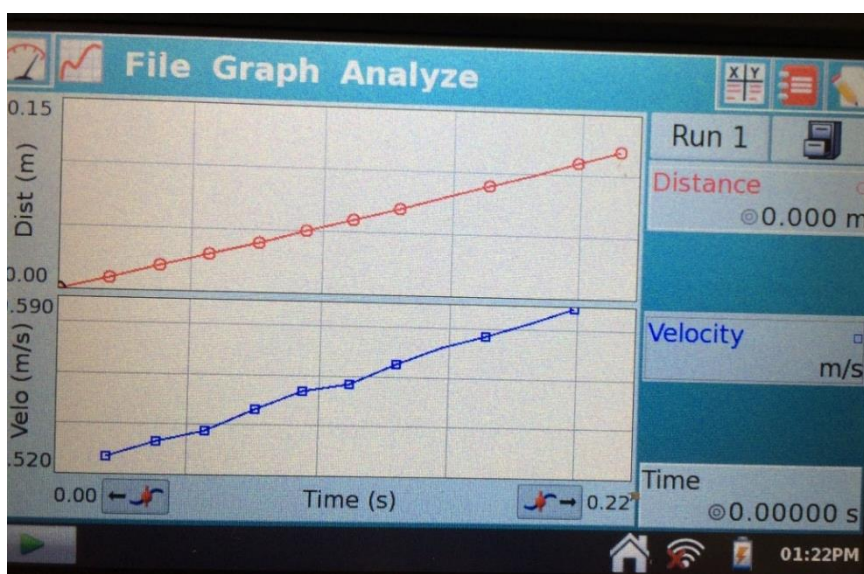
Kolika je bila akceleracija za kolica bez utega i silu 1 N?

- Učenici upisuju u tablicu vrijednosti prijašnjih mjerenja (vidi slike 2.24 i 2.25).

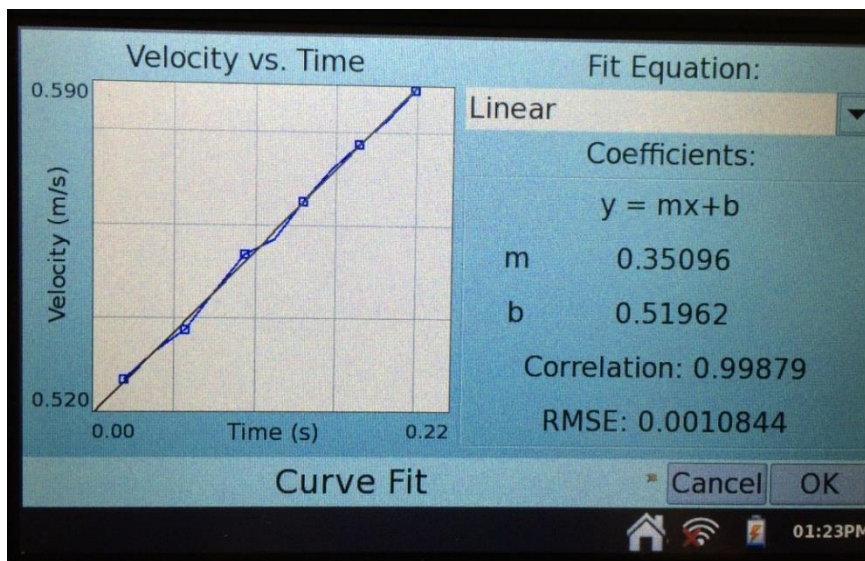
Nastavnik izvodi pokus s kolicima na koje je pričvršćen uteg i djeluje sila od 1 N (slika 2.27).

Kolika je akceleracija?

- Učenici očitavaju akceleraciju iz nagiba pravca u $v - t$ grafu (slika 2.28) te očitanu vrijednost upisuju u tablicu (tablica 2.2).



Slika 2.27: *Prikaz sučelja nakon izvođenja petog mjerenja*



Slika 2.28: Izračunat nagib pravca za peto mjerenje

Što možete zaključiti na osnovi podataka iz tablice?

- Kad smo povećavali masu kolica, akceleracija kolica se smanjivala dok smo silu držali stalnom.

Koliko smo otprilike povećali masu i koliko se smanjila akceleracija?

- Masu smo povećali dva puta i akceleracija se smanjila dva puta.

Što možete reći kako se matematički odnose masa i akceleracija?

- Masa i akceleracija su obrnuto proporcionalne veličine.

Kako bi matematički zapisali odnos a , F i m ?

- Dajemo učenicima vremena da zapišu izraz u svoje bilježnice.

Nastavnik proziva nekoliko učenika da pročitaju izraz do kojeg su došli. Nastavnik sve izraze zapisuje na ploču. Potom u diskusiji s učenicima dolaze do ispravnog izraza.

$$a = \frac{F}{m}$$

Kako bi ste riječima izrekli gore napisanu formulu?

- Učenici će zaključiti da ako na tijelo djeluje sila, ono će ubrzavati. Ubrzanje koje tijelo dobije proporcionalno je sili koja djeluje na tijelo, a obrnuto proporcionalno masi tijela.

Važno je da učenici uoče razliku između uzroka i posljedice, tj. da je sila uzrok, a akceleracija posljedica djelovanja sile na tijelo.

Nastavnik kaže da to nazivamo drugim Newtonovim zakonom.

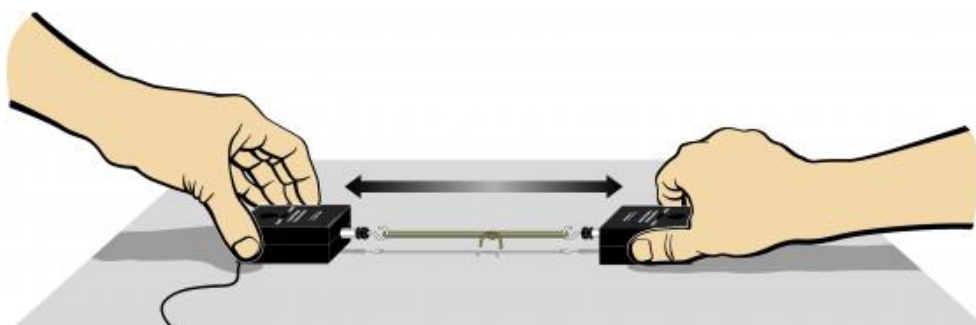
2.3. Treći Newtonov zakon

2.3.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

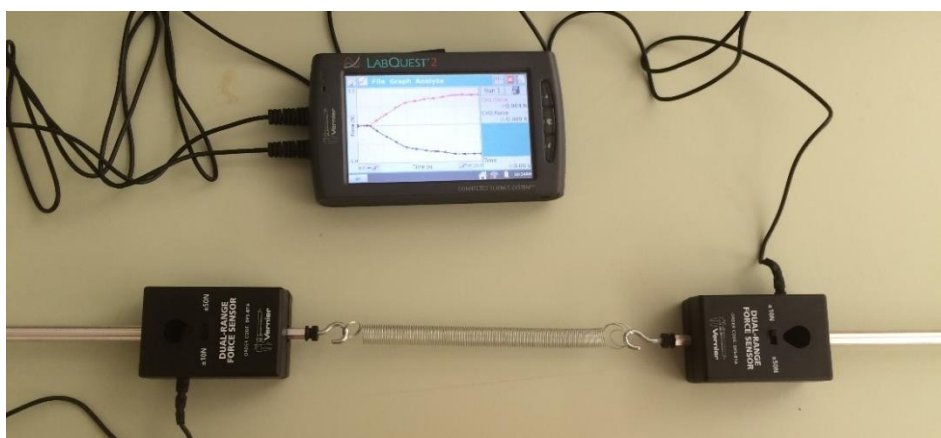
Za pokus su potrebna dva senzora za silu (*Dual-Range Force Sensor*) s različitim završecima, opruga, međusklop i računalo spojeno na projektor. Pribor je prikazan na slici 2.29, a eksperimentalni postav na slikama 2.30 i 2.31.



Slika 2.29: Pribor potreban za izvođenje pokusa



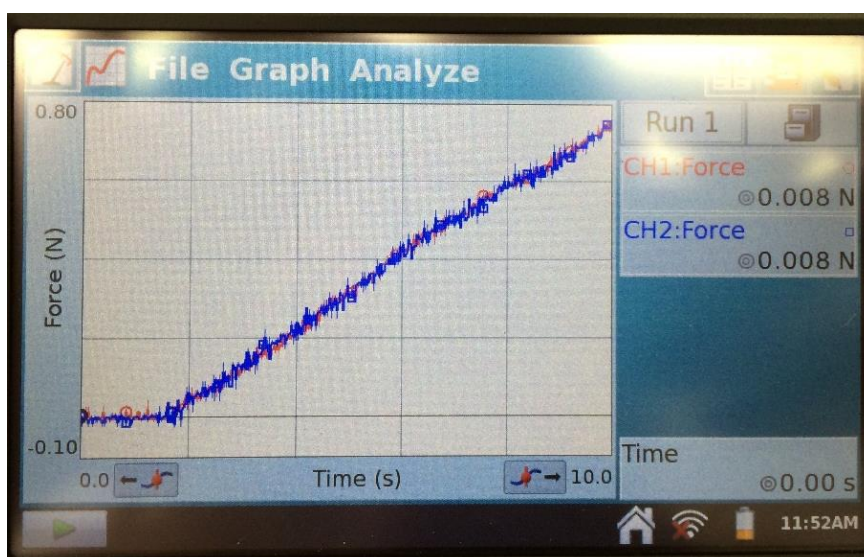
Slika 2.30: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].



Slika 2.31: Eksperimentalni postav u praktikumu

U prvom pokusu na senzore spojimo oprugu i povlačimo oba senzora. U idućem pokusu ponavljamo isto samo jače povlačimo senzore. U trećem pokusu jedan senzor čvrsto držimo da se ne pomiče, a drugi povlačimo. U zadnjem pokusu na kraj senzora stavimo odbojnice i sudarimo dva senzora. Senzore u svim pokusima treba postaviti na nulu.

Ako ne okrenemo smjer jedne od sila dobivamo graf na slici 2.32.



Slika 2.32: Prikaz grafa kad senzori prikazuju grafove u istom smjeru

Ovaj prikaz grafova može biti zbunjujući za učenike jer želimo da dođu do zaključka da su sile suprotnog smjera. Zbog toga na jednom senzoru treba promijeniti pozitivni smjer

sile. Tada se lijepo vidi da su sile u različitim smjerovima, a lako možemo očitati iznose sila koji su jednaki. Također, učenici mogu uočiti da su grafovi osnosimetrični s obzirom na t -os.

Ovi pokusi se mogu koristiti kao istraživački pokusi prilikom uvođenja trećeg Newtonovog zakona.

2.3.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Nastavnik pita učenike što se događa kad lupe šakom od stol. Djelujemo li mi silom na stol? Djeluje li stol na nas nekom silom?

- Učenici iznose svoje ideje. Na taj način nastavnik može uočiti učeničke miskoncepcije.

Nastavnik pozove dva učenika, nazvat ćemo ih Marko i Luka. Marko je jači od Luke. Ako im damo konopac koji svatko vuče na svoju stranu, tko će od njih djelovati većom silom?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

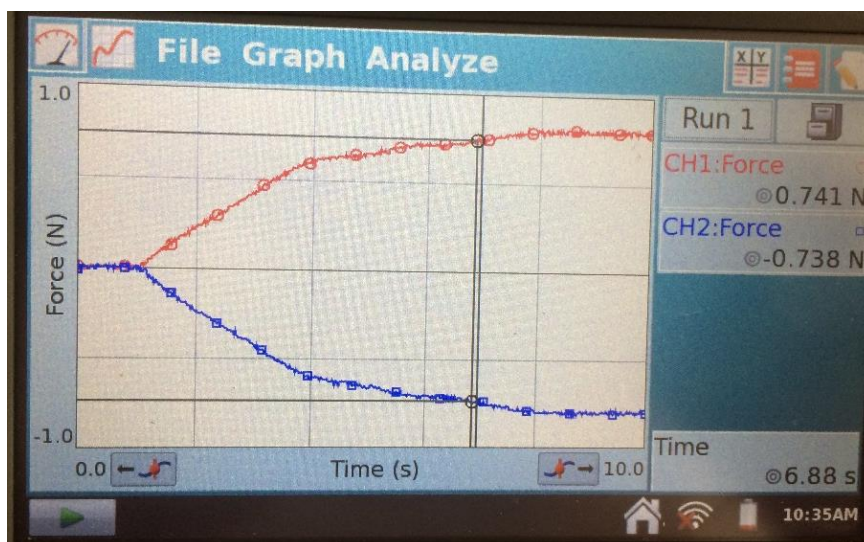
Kako možemo provjeriti tko djeluje većom silom?

- Učenici iznose svoje ideje za pokus.

Nastavnik pokazuje učenicima pribor koji imaju na raspolaganju.

- Dva učenika vuku u suprotnim smjerovima senzore koji su spojeni oprugom.

Na sučelju se crta $F - t$ graf prikazan na slici 2.33.



Slika 2.33: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa 1

Kakav smo graf dobili?

- Dobili smo dva grafa, jedan je od prvog senzora, a drugi od drugog.

U dogovoru s učenicima nastavnik jednu silu označava F_1 , a drugu silu F_2 .

Što možete reći o iznosu tih sila u vremenu?

- Iznosi tih sile su jednaki u svakom vremenskom trenutku.

U kakvom su međusobnom odnosu smjerovi tih dviju sila?

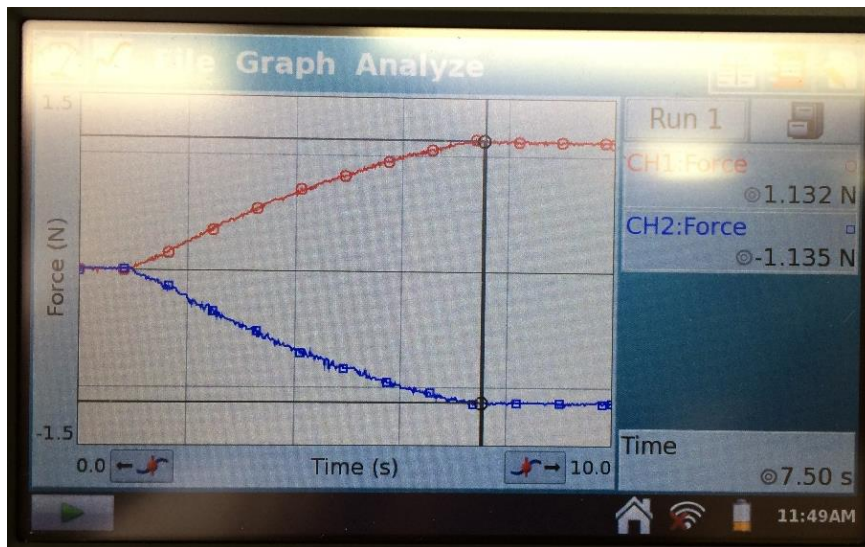
- Te sile su suprotnog smjera.

Postoji li neki trenutak kada se sila F_1 pojavljuje prije sile F_2 , ili obrnuto?

- Reći će da se sile pojavljuju istovremeno.

Nastavnik zamoli učenike da ponove još jednom pokus, ako neki od učenika nisu opazili kako se pojavljuju sile F_1 i F_2 .

Nastavnik kaže učenicima da sad jače povuku oprugu. Na sučelju se crta $F - t$ graf prikazan na slici 2.34.



Slika 2.34: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa kad jače povučemo senzore

Kakve ste sad grafove dobili?

- Grafove su slični kao u prethodnom slučaju.

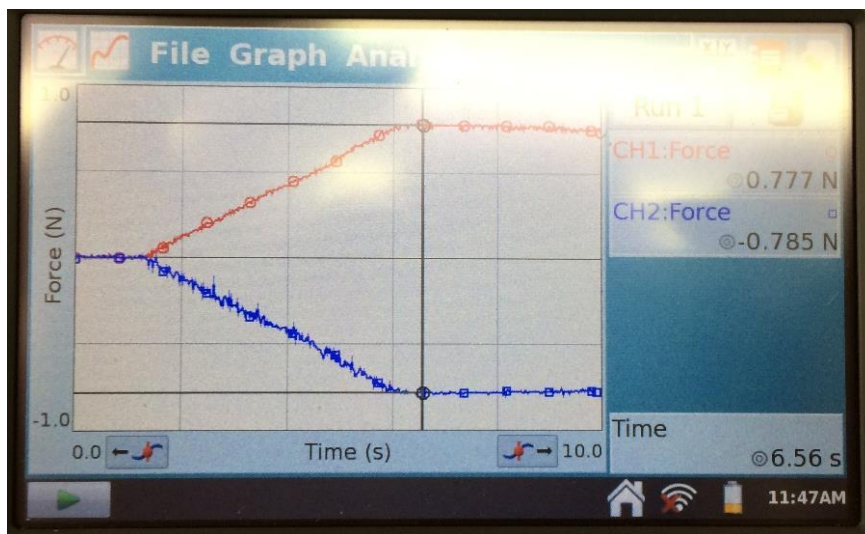
Razlikuje li se od prethodnog slučaja?

- Promijenili su se samo iznosi sila jer su učenici sada jače vukli senzore.

Što bi se dogodilo kad bi jedan senzor držali na mjestu, a drugi povlačili?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Nastavnik sad zamoli neki drugi par učenika da jedan učenik drži senzor na mjestu, a drugi ga vuče. Na sučelju se crta $F - t$ graf prikazan na slici 2.35.



Slika 2.35: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa kad jedan senzor miruje

Kakav smo graf dobili?

- Dobili smo sličan graf kao ranije.

Što zaključujete?

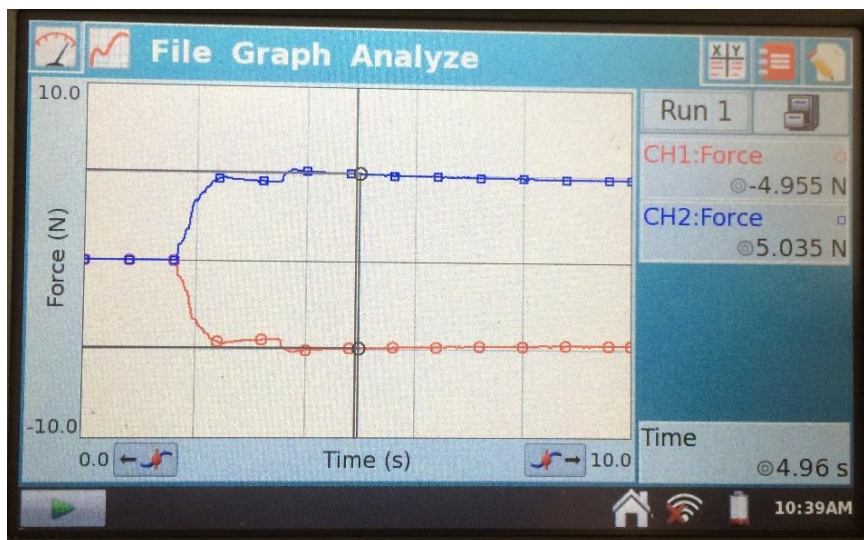
- I kad tijelo miruje (tj. ne pomičemo njega) ono djeluje silom na drugo tijelo.

Što će se dogoditi ako umjesto opruge između senzora imamo na vrhovima senzora odbojnice koji se međusobno sudare?

Kakav tada $F - t$ graf očekujete?

- Učenici iznose svoja predviđanja.

Nastavnik sad zamoli neki par učenika da sudare senzore njihovim krajevima. Na sučelju se crta $F - t$ graf prikazan na slici 2.36.



Slika 2.36: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa s čvrstim krajem na senzorima

Kakav ste graf dobili?

- Opet imamo grafove dviju sila.

Što možete zaključiti o tim silama?

- Te sile su istog iznosa, ali suprotnog smjera.

Uzevši u obzir sve pokuse, što možete reći o silama kojima tijela 1 i 2 međudjeluju?

- Ako tijelo 1 djeluje na tijelo 2 nekom silom, onda će tijelo 2 djelovati na tijelo 1 silom istog iznosa, ali suprotnog smjera.

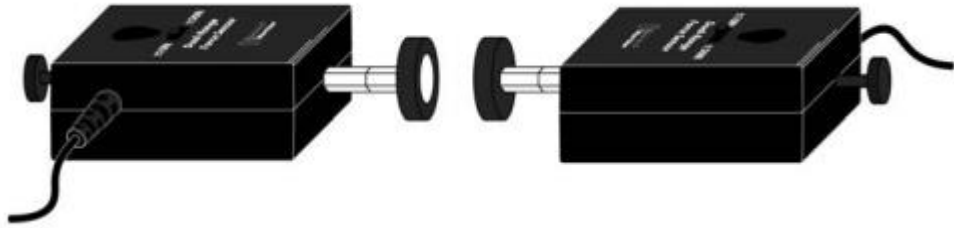
Kako ćemo matematički to zapisati?

- $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$

Nastavnik uvodi da je to treći Newtonov zakon.

2.3.3. Dodatak

Osim prikazanih istraživačkih pokusa, moguće je mjeriti sile kad je na senzoru magnetski odbojnik kao što je prikazano na slici 2.37.



Slika 2.37: Pribor za pokus s magnetskim odbojnicima. Preuzeto iz [11].

U ovom pokusu bi također istraživali svojstva sila kojima tijela međudjeluju. Ovaj pokus bi se mogao koristiti kao aplikacijski pokus.

Poglavlje 3

Sila trenja i impuls sile

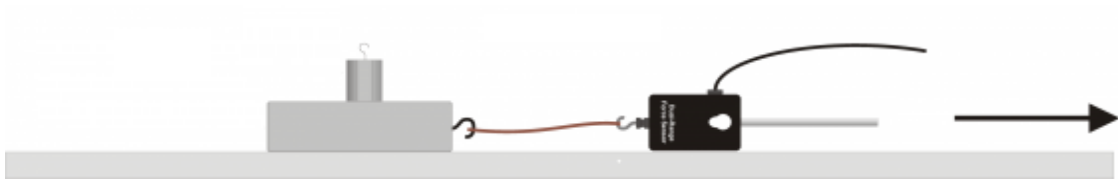
3.1. Sila trenja

3.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Za pokus su nam potrebni senzor za silu (*Dual-Range Force Sensor*), kvadar, uteg, međusklop i računalno spojeno na projektor (slika 3.1). Spojimo kvadar na senzor za silu i moramo paziti da senzor vučemo stalnom silom (slika 3.2).



Slika 3.1: Pribor za izvođenje pokusa



Slika 3.2: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].

Prije izvođenja pokusa, bitno je uvježbati povlačenje kvadra. Dobro je staviti uteg na kvadar jer sam kvadar je prelagan i neće ispasti dobar graf. Važno je da senzor za silu cijelo vrijeme bude na stolu jer inače nećemo ispravno mjeriti silu, zbog toga je bitno da kukice na kvadru budu postavljene tako da se senzor ne mora podizati sa stola.

3.1.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Zašto nije lako pomaknuti ormar? Zašto se tijelo ne pomakne čim ga počnemo vući?

- Učenici iznose svoje ideje.

Nastavnik lagano vuče kvadar na kojem je uteg, ali se uteg ne pomiče.

Koje sile djeluju na tijelo koje vučemo?

- Sila teža, sila podloge i sila kojom vučemo.

Kako objašnjavate da je kvadar ostao u mirovanju iako ga vučemo?

- Mora djelovati neka sila u suprotnom smjeru od vučne sile.

Kako je to u skladu s prvim Newtonovim zakonom?

- Tijelo ostaje u mirovanju ako je rezultantna sila na njega jednaka nuli.

Koja to sila djeluje u suprotnom smjeru od vučne sile?

- Učenici se prisjećaju sile trenja koju su radili u osnovnoj školi.

Što mislite kako se mijenja sila trenja u vremenu kad vučemo tijelo? Skicirajte graf u svoje bilježnice.

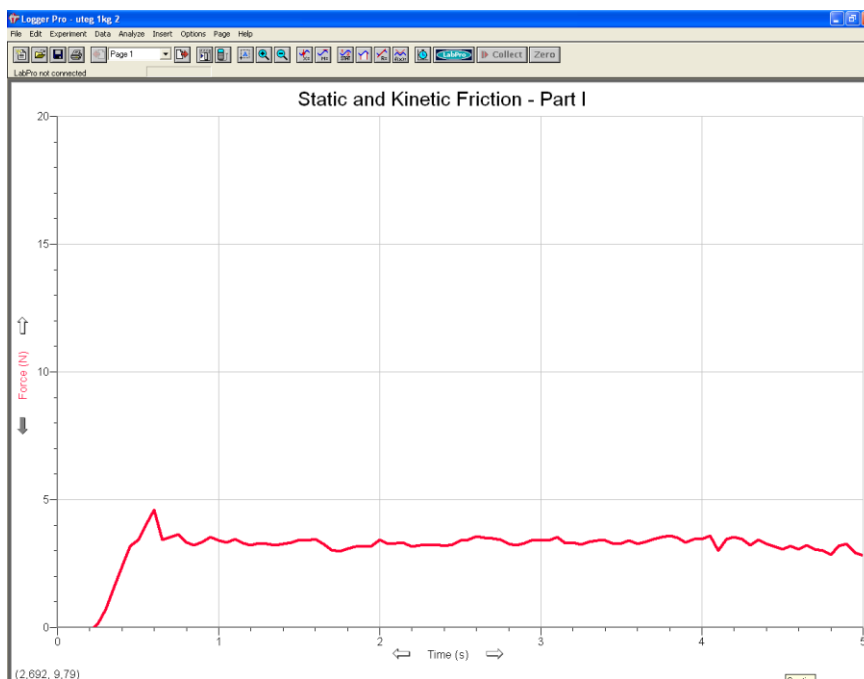
- Učenici skiciraju graf u bilježnice.

Kako možemo provjeriti vašu pretpostavku?

- Učenici sami smišljaju pokus.

Nastavnik pokazuje pribor koji imaju i objašnjava što i kako mjeri senzor za silu.

Nastavnik počne povlačiti kvadar i djeluje silom dok se kvadar ne pokrene, a onda još neko vrijeme dok se giba stalnom brzinom (slika 3.3).



Slika 3.3: *Primjer mjerenja*

Koji dio grafa predstavlja mirovanje kvadra, a koji njegovo gibanje?

- Prvi dio grafa do „špica“ predstavlja mirovanje kvadra, a ravni dio grafa predstavlja njegovo gibanje.

Koju silu mjeri senzor?

- Senzor mjeri silu kojom povlačimo kvadar.

Kako je sila trenja povezana sa silom kojom povlačimo kvadar?

- Sila trenja jednaka je sili kojom povlačimo kvadar.

Kako to znamo?

- U prvom dijelu kad kvadar miruje, ukupna sila na njega je nula, pa su sila trenja i sila kojom povlačimo kvadar jednake po iznosu, a suprotnog smjera. Kad se kvadar giba stalnom brzinom, opet je ukupna sila jednaka nuli, pa su sila trenja i sila kojom povlačimo kvadar jednake po iznosu, a suprotnog smjera.

Kad je sila trenja najveća?

- Trenutak prije nego se kvadar počeo gibati.

Što se događa sa silom trenja dok se kvadar ne počne gibati?

- Sila trenja se povećava do maksimalnog iznosa.

Kakva je sila nakon što se kvadar počeo gibati?

- Sila je konstantna u vremenu i manja od maksimalnog iznosa.

Kako to možete povezati sa svakodnevnim životom?

- Ormar je lakše pokrenuti nego gurati tako da se giba stalnom brzinom.

Nastavnik uvodi statičko i dinamičko trenje.

Nakon što je uvedena sila trenja, učenici kroz pokuse mogu istražiti o čemu ona ovisi.

O čemu ovisi sila trenja?

- Učenici iznose svoje ideje. Možda će neki spomenuti da ovisi o masi kvadra, površini dodira s podlogom, vrsti podloge i sl.

Kako možemo istražiti ovisi li sila trenja o masi kvadra?

- Učenici iznose svoje ideje. Zaključuju da treba mijenjati masu kvadra, a sve ostalo držati isto.

Nastavnik izvodi pokus s dvostruko većom masom kvadra (najlakše je dodavati utege na kvadar). Iz grafova ćemo očitavati dinamičko trenje.

- Učenici očitavaju vrijednosti iz grafa i vide da je sila trenja dva puta veća. Zaključuju da je sila trenja proporcionalna masi tijela.

Učenici mogu zaključiti da sila trenja ovisi o sili teže, tada bi bilo dobro napraviti pokus tako da kvadar stavimo na kosinu i ponovno mjerimo silu trenja.

- Učenici očitavaju vrijednosti iz grafa i vide da je sila trenja manja nego na ravnoj podlozi iako je masa jednaka. Kroz raspravu učenici zaključuju da sila trenja ovisi o sili podloge koja je u nekim slučajevima jednaka sili teže.

Ovisi li sila trenja o vrsti podloge?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Kako to možemo istražiti?

- Učenici iznose svoje ideje.

Nastavnik izvodi pokus tako da prvo kvadar povlači po glatkoj podlozi, a onda po hrapavoj podlozi.

- Učenici očitavaju vrijednosti iz grafa i vide da je sila trenja veća kad je podloga hrapava.

Ovisi li sila trenja o vrsti materijala od kojeg je napravljen kvadar? Kako to možemo istražiti?

- Učenici iznose svoje ideje.

Nastavnik izvodi pokus tako da je prvo glatka strana kvadra okrenuta prema stolu, a onda hrapava strana. Pri tome treba paziti da je površina tih strana po kojima povlačimo kvadar jednaka.

- Učenici očitavaju vrijednosti iz grafa i vide da je sila trenja veća kada smo kvadar povlačili po njegovoj hrapavoj strani. Zaključuju da je za silu trenja važno od kojih je materijala napravljena i podloga i kvadar.

Ovisi li sila trenja o površini dodirne plohe?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Kako to možemo istražiti?

- Učenici iznose svoje ideje.

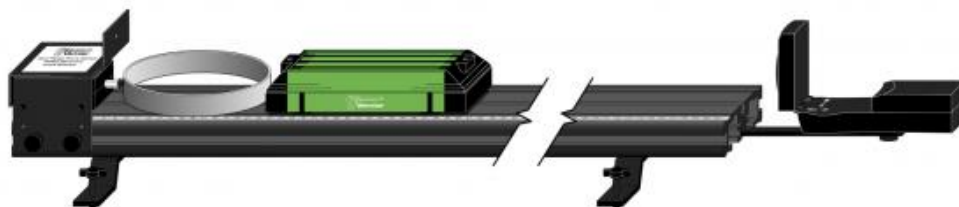
Nastavnik izvodi pokus tako da je kvadar prvo okrenut na svoju najveću plohu, a zatim na najmanju plohu.

- Učenici očitavaju vrijednosti iz grafa i vide da je sila trenja jednaka. Zaključuju da sila trenja za jedno tijelo ne ovisi o površini plohe kojom to tijelo dodiruje podlogu.

3.2. Mjerenje impulsa sile

3.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Za pokus su nam potrebni senzor za silu (*Dual-Range Force Sensor*) s različitim nastavcima, opruga i neelastični završetak, detektor gibanja (*Motion Detector*), kolica, klupa, međusklop i računalo spojeno na projektor. Eksperimentalni postav je prikazan na slikama 3.4 i 3.5. Pokus se izvodi tako da kolica gurnemo prema senzoru za silu spojenom na elastičnu oprugu. Senzor za silu se postavi na 10 N. Gibanje kolica mjeri se pomoću detektora gibanja.

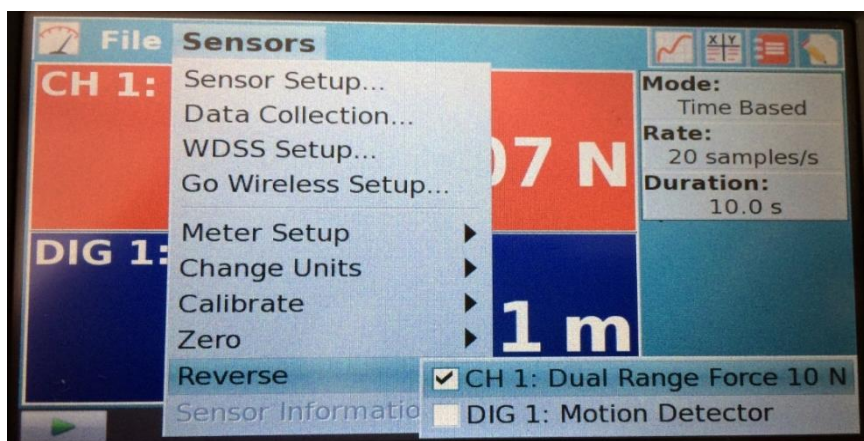


Slika 3.4: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].



Slika 3.5: Eksperimentalni postav s elastičnim završetkom u praktikumu

Prije izvođenja pokusa potrebno je okrenuti pozitivni smjer mjerenja sile, inače će graf biti u negativnom smjeru (slika 3.6).



Slika 3.6: Prikaz okretanja smjera sile na računalu

Ovdje smo ove pokuse opisali kao aplikacijske, tj. njihovu uporabu kad su učenici već naučili što je impuls sile i količina gibanja te sudare. Pokusi se mogu prilagoditi i koristiti kao istraživački prilikom uvođenja impulsa sile.

3.2.2. Priprema za interaktivno izvođenje pokusa

Što će dogoditi kad pustimo kolica da se gibaju prema opruzi?

- Učenici iznose svoja predviđanja.

Nastavnik pusti kolica da se gibaju prema opruzi.

Zašto su kolica promijenila smjer gibanja?

- Učenici iznose svoje zaključke, pretpostavljam da će najčešći odgovor biti jer su se odbila.

Je li na kolica djelovala sila?

- Učenici zaključuju da je djelovala sila i to elastična sila opruge.

Kako znate da je djelovala sila?

- Djelovala je sila jer se promijenila brzina.

Što se promijenilo kolicima osim brzine?

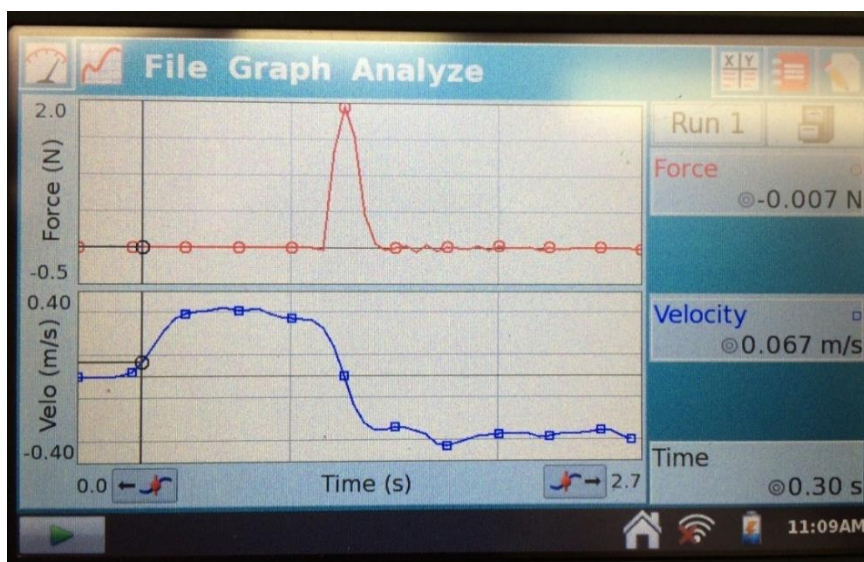
- Učenici se prisjećaju količine gibanja i zaključuju da se promijenila količina gibanja.

Što nam je potrebno da izračunamo promjenu količine gibanja?

- Potrebno je znati masu i brzinu kolica prije i poslije sudara s oprugom.

Jedan od učenika izmjeri masu kolica.

Nastavnik ponovi pokus. Na sučelju se crtaju $F - t$ i $v - t$ grafovi prikazani na slici 3.7.



Slika 3.7: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa

Kad je sila djelovala na kolica?

- Sila je djelovala samo kad su kolica bila u kontaktu s oprugom.

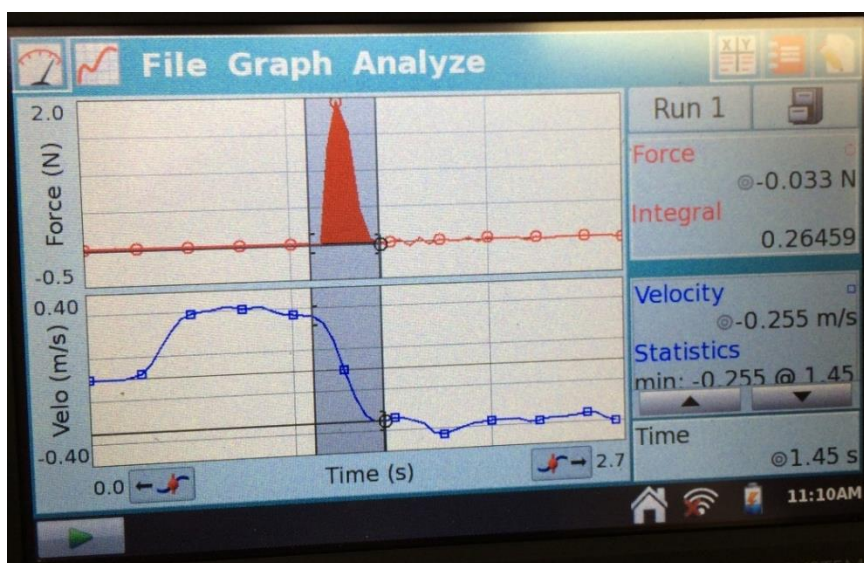
Koliko je dugo sila djelovala na kolica?

- Sila je djelovala kratki vremenski interval. Učenici očitavaju vrijednosti iz grafa.

Što je površina ispod $F - t$ grafa?

- Kroz raspravu učenici zaključuju da je to impuls sile I . Kad je sila stalna $I = F \Delta t$, a ako se sila mijenja gledamo površinu ispod $F - t$ grafa.

Nastavnik pomoću računala odredi površinu kao što je prikazano na slici 3.8. Impuls sile je $I = 0,26459 \text{ N}\cdot\text{s}$.



Slika 3.8: Izračunata površina ispod $F - t$ grafa

Kolika je promjena količine gibanja kolica?

- Jedan učenik izmjeri masu kolica.

$$m = 0,514 \text{ kg}$$

U diskusiji s nastavnikom učenici dolaze do zaključka koje brzine treba očitati iz $v - t$ grafa. Nastavnik se s učenicima dogovori da je pozitivni smjer od odbojnika (udesno na slikama 1 i 2).

$$v_{\text{prije}} = -0,255 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{\text{poslije}} = 0,262 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta p = m(v_{\text{poslije}} - v_{\text{prije}})$$

$$\Delta p = 0,514 \text{ kg} \cdot \left(0,262 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0,255 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

$$\Delta p = 0,265738 \frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}$$

Usporedite iznose koje ste dobili za impuls sile i promjenu količine gibanja.

- Učenici zaključuju da su to jednake veličine.

Moguće je napraviti i pokuse da umjesto elastičnog završetka, imamo neelastičan završetak.

Poglavlje 4

Zakoni očuvanja

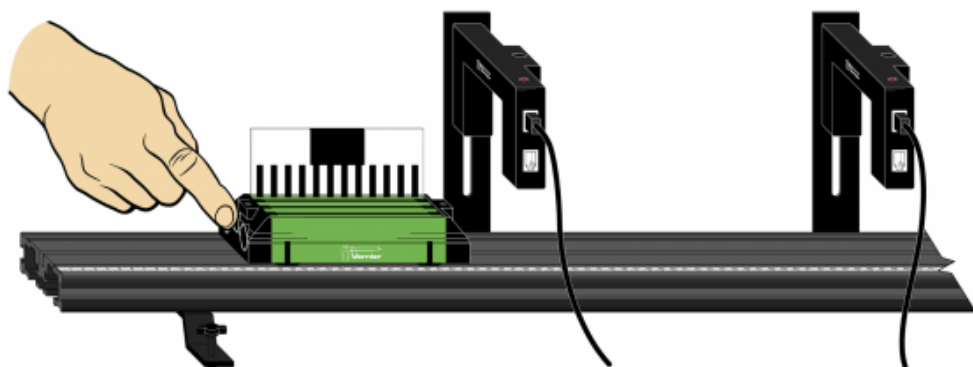
4.1. Sudari

4.1.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

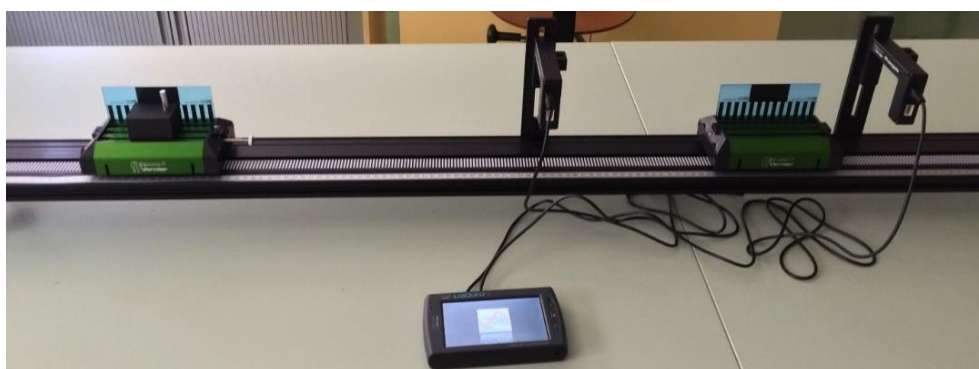
Za pokus su nam potrebna dvojica kolica, od koji su jedna s elastičnim završetkom, dvojica svjetlosna vrata, dvije crno-prozirne letve za kolica (*Cart Picket Fence*), klupa, uteg, međusklop i računalo spojeno na projektor. Pribor je prikazan na slici 4.1. Eksperimentalni postav je prikazan na slikama 4.2 i 4.3.



Slika 4.1: Pribor potreban za izvođenje pokusa



Slika 4.2: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].



Slika 4.3: Eksperimentalni postav u praktikumu

Prije početka mjerenja potrebno je namjestiti svjetlosna vrata na odgovarajući način rada (slika 4.4).



Slika 4.4: Prikaz moda u kojem trebaju biti svjetlosna vrata

U prvom pokusu kolica s elastičnim završetkom se gibaju prema drugim kolicima koja stoje. U drugom pokusu se također prva kolica gibaju prema drugim kolicima koja stoje, ali se sudare drugim krajem (ne s elastičnim završetkom). U trećem pokusu na oba kolica se zalijepi čičak i prilikom sudara kolica se spoje. U daljnjem računu potrebno je uzimati prvu očitanu brzinu spojenih kolica jer se druga smanji zbog trenja. U četvrtom pokusu pustimo da se kolica gibaju jedna prema drugima s neelastičnim završetcima. U zadnjem pokusu, kolica se sudaraju s mirujućim kolicima iste mase. Dobivaju se bolji rezultati ako se kolica prije sudara gibaju manjom brzinom.

4.1.2. Priprema za interaktivni sat

Što se dogodi s automobilima kad se sudare?

- Učenici iznose svoje ideje.

Deformiraju li se automobili prilikom sudara? Dolazi li do pretvorbe energije zbog deformacije lima na automobilu?

- Želimo da učenici povežu energiju sa sudarima.

Umjesto automobila možemo sudarati kolica i proučavati sudare.

Pokus 1

Koje su veličine očuvane u sudarima?

- Učenici će vjerojatno pretpostaviti da su količina gibanja i energija očuvani u sudarima.

Kako to možemo provjeriti?

- Učenici sami osmišljavaju pokus.

Koje veličine trebamo mjeriti?

- Trebamo mjeriti masu i brzinu.

Pozovemo učenika da izmjeri masu kolica. Drugi učenik piše podatke na ploči. Učenici zapisuju podatke u bilježnicu.

$$m_A = 1,034 \text{ kg}$$

$$m_B = 0,514 \text{ kg}$$

Kako ćemo mjeriti brzinu kolica pomoću svjetlosnih vrata?

- Učenici se prisjećaju kako se određuje brzina pomoću svjetlosnih vrata jer su već ranije radili slične pokuse.

Jedna kolica se gibaju i sudare se s kolicima koja stoje.

Nastavnik pozove jednog učenika da gurne kolica. Računalo samo izračunava brzine koje su prikazane na slici 4.5.

| Run 1 | | | | | |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| e S | D2:Gate S | D1:Ga (s) | D1: (m/s) | D2:Ga (s) | D2: (m/s) |
| ked | | | | | |
| ked | | 0.075892 | 0.659 | | |
| | Blocked | | | | |
| | Unblocked | | | 0.066646 | 0.750 |
| | Blocked | | | | |
| | Unblocked | | | 0.202015 | 0.248 |

Slika 4.5: Rezultati mjerenja za elastični sudar

- Jedan učenik upisuje podatke u tablicu (tablica 4.1) na ploči, a ostali učenici upisuju u tablice u bilježnici.

Nastavnik upozori učenike da ostave još mjesta ispod jer ćemo tablicu nadopunjavati novim redcima.

| N | v_A /m/s | v_B /m/s | v'_A /m/s | v'_B /m/s | p / kgm/s | p' / kgm/s | E_k / J | E'_k / J |
|---|------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----------|------------|
| 1 | 0,659 | 0,000 | 0,248 | 0,750 | 0,681 | 0,641 | 0,225 | 0,172 |
| 2 | 0,560 | 0,000 | 0,262 | 0,526 | 0,579 | 0,541 | 0,162 | 0,106 |
| 3 | 0,543 | 0,000 | 0,351 | | 0,561 | 0,543 | 0,152 | 0,095 |
| 4 | 0,461 | 0,521 | 0,088 | 0,598 | 0,214 | 0,216 | 0,180 | 0,100 |
| 5 | 0,249 | 0,000 | 0,000 | 0,200 | 0,128 | 0,103 | 0,016 | 0,010 |

Tablica 4.1: *Primjer popunjene tablice*

Kako ćemo odrediti vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Izračunat ćemo ukupnu količinu gibanja prije i poslije sudara.

Koliku količinu gibanja imaju kolica A prije sudara?

- $m_A v_A$, pri čemu je m_A masa kolica A, a v_A njihova brzina prije sudara.

Koliku količinu gibanja imaju kolica B prije sudara?

- Količina gibanje je 0 jer se kolica ne gibaju.

Koliku količinu gibanja imaju kolica A poslije sudara?

- $m_A v'_A$, pri čemu je m_A masa kolica A, a v'_A njihova brzina poslije sudara.

Koliku količinu gibanja imaju kolica B poslije sudara?

- $m_B v'_B$, pri čemu je m_B masa kolica B, a v'_B njihova brzina poslije sudara.

Izračunajte količine gibanja i upišite u tablicu.

- Učenici zapisuju izračunate vrijednosti u tablicu (tablica 4.1).

Vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Učenici će možda zaključiti da ne vrijedi, ako ukupne količina gibanja prije i poslije sudara nisu skroz jednake. Ponovimo s njima da rezultat mjerenja nije jedan broj nego treba iskazati i mjernu nesigurnost te usporediti intervale koji predstavljaju

količinu gibanja prije i poslije sudara. Po potrebi, može se odrediti relativna pogreška mjerenja.

Koju energiju kolica A imaju prije sudara?

- Kinetičku energiju.

Koju energiju kolica B imaju prije sudara?

- Učenici će reći da kolica nemaju kinetičku energiju jer se ne gibaju, ali moguće da će neki učenici spomenuti da kolica imaju gravitacijsku potencijalnu energiju. Kroz raspravu učenici zaključče da gledamo samo kinetičku energiju jer su kolica na istoj visini i imaju istu gravitacijsku potencijalnu energiju koja se ne mijenja.

Koju energiju imaju kolica A i B poslije sudara?

- Kinetičku energiju.

Kako računamo kinetičku energiju?

- Pomoću formule $E_k = \frac{mv^2}{2}$.

Izračunajte kinetičke energije i upišite u tablicu.

- Učenici zapisuju dobivene podatke u tablicu (tablica 4.1).

Vrijedi li zakon očuvanja energije?

- Učenici će možda zaključiti da ne vrijedi, ako ukupne kinetičke energije prije i poslije sudara ne budu skroz jednake. Ako je potrebno, s učenicima odredimo pogreške kod mjerenja te usporedimo intervale vrijednosti.

Nastavnik u raspravi s učenicima uvodi pojam mehaničke energije. Učenici zaključuju da je u ovom sudaru sačuvana mehanička energija. Nastavnik uvodi pojam elastičnog sudara.

Napišite svojim riječima u bilježnicu što znači da je sudar elastičan.

- Učenici zapisuju zaključak.

Nastavnik poziva nekoliko učenika da pročitaju svoje zaključke.

Pokus 2

Sada ćemo okrenuti kolica tako da se neće sudariti na kraju gdje je elastična opruga. Hoće li sada u sudaru biti očuvana količina gibanja i mehanička energija sustava dvoja kolica?

- Učenici zapisuju svoje pretpostavke.

Nastavnik poziva jednog učenika da gurne kolica. Kolica se sad sudaraju stranama na kojima nije elastična opruga koja omogućava elastičan sudar. Računalo samo izračunava brzine koje su prikazane na slici 4.6.

| Run 1 | | | | | |
|-------|-----|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| | e S | D2:Gate S | D1:Ga (s) | D1: (m/s) | D2:Ga (s) D2: (m/s) |
| | ked | | | | |
| | ked | | 0.089231 | 0.560 | |
| | | Blocked | | | |
| | | Unblocked | | | 0.095133 0.526 |
| | | Blocked | | | |
| | | Unblocked | | | 0.190513 0.262 |

Slika 4.6: Rezultati mjerenja za neelastični sudar

- Jedan učenik upisuje podatke u tablicu (tablica 4.1) na ploči, a ostali učenici upisuju u tablice u bilježnici.

Kako ćemo odrediti vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Treba izračunati ukupnu količinu gibanja prije i poslije sudara.

Izračunajte količine gibanja i upišite u tablicu.

- Učenici zapisuju dobivene podatke u tablicu (tablica 4.1).

Vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Učenici komentiraju dobivene rezultate.

Kako ćemo provjeriti vrijedi li zakon očuvanja energije?

- Izračunat ćemo ukupnu energiju kolica prije i poslije sudara.

Koju energiju ćemo računati?

- Računat ćemo kinetičke energije kao i u prethodnom slučaju.

Izračunajte kinetičke energije i upišite u tablicu.

- Učenici zapisuju dobivene podatke u tablicu (tablica 4.1).

Vrijedi li zakon očuvanja energije?

- Učenici će zaključiti da ne vrijedi jer postoji značajna razlika između ukupne kinetičke energije prije i poslije sudara.

Je li moguće da ne vrijedi zakon očuvanja energije? Koja energija nije očuvana?

- Zakon očuvanja energije vrijedi. Mehanička energija nije očuvana, ali ima i drugih oblika energije.

Nastavnik uvodi naziv neelastični sudar i pita učenike da zapišu svojim riječima što to znači. Nekoliko učenika pročita svoje zaključke.

Koliko je mehaničke energije kolica prešla u druge oblike energije tijekom sudara?

- Treba izračunati razliku ukupne energije prije i poslije sudara.

Pokus 3

Što će se dogoditi ako na kolica zalijepimo čičak?

- Učenici pišu svoje pretpostavke.

Nastavnik zalijepi čičak na oba kolica i pozove jednog učenika da gurne kolica. Kolica se spoje i nastave se gibati zajedno. Nastavnik uvodi naziv potpuno neelastični sudar.

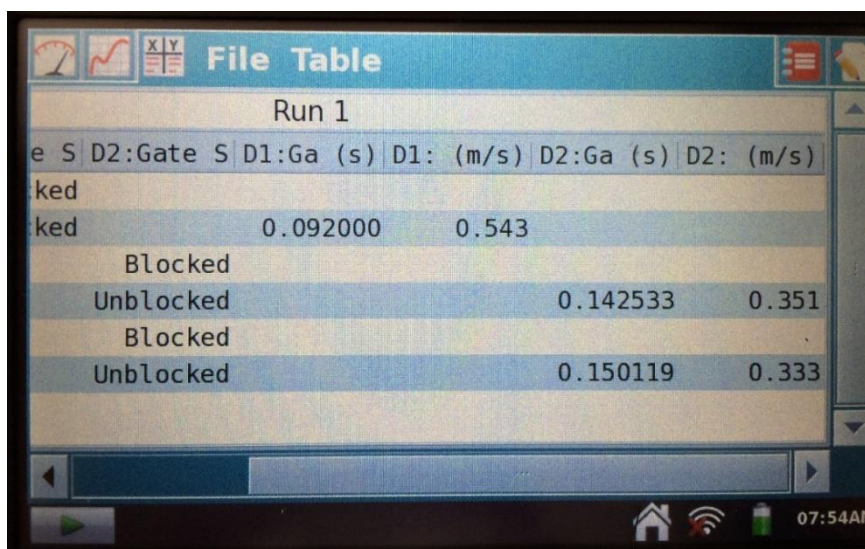
Vrijede li zakon očuvanja količine gibanja i zakon očuvanja mehaničke energije za potpuno neelastične sudare?

- Učenici zapisuju pretpostavke u svoje bilježnice.

Što trebamo izmjeriti da bi to provjerili?

- Trebamo izmjeriti mase i brzine kolica prije i poslije sudara.

Nastavnik ponovi pokus mjereći brzine pomoću svjetlosnih vrata. Računalo samo izračunava brzine koje su prikazane na slici 4.7.



| Run 1 | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Blocked | D1:Ga (s) | D1: (m/s) | D2:Ga (s) | D2: (m/s) |
| Blocked | 0.092000 | 0.543 | | |
| Unblocked | | | 0.142533 | 0.351 |
| Blocked | | | | |
| Unblocked | | | 0.150119 | 0.333 |

Slika 4.7: Rezultati mjerenja za potpuno neelastičan sudar

- Jedan učenik upisuje podatke u tablicu (tablica 4.1) na ploči, a ostali učenici upisuju u tablice u bilježnici.

Kakva je brzina kolica A poslije sudara u odnosu na kolica B poslije sudara?

- Brzine kolica A i B nakon sudara su jednake jer se gibaju zajedno. Pošto postoji trenje, brzine neće biti potpuno jednake za oba svjetlosna vrata pa to treba raspraviti s učenicima.

Vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Treba izračunati ukupnu količinu gibanja prije i poslije sudara.

Koliku količinu gibanja imaju kolica A i B poslije sudara?

- Količina gibanja poslije sudara je $(m_A + m_B)v'$, pri čemu je v' brzina kolica poslije sudara.

Koju ćemo brzinu uzeti da izračunamo ukupnu količinu gibanja nakon sudara?

- Uzet ćemo brzinu prvih kolica koja prođu kroz svjetlosna vrata jer je brzina drugih kolica manja zbog trenja.

Izračunajte količine gibanja i upišite u tablicu.

- Učenici zapisuju dobivene podatke u tablicu (tablica 4.1).

Vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Učenici komentiraju dobivene rezultate i zaključuju da vrijedi zakon očuvanja količine gibanja.

Provjerite vrijedi li zakon očuvanja mehaničke energije.

- Učenici računaju kinetičke energije prije i poslije sudara i zapisuju dobivene podatke u tablicu (tablica 4.1).

Vrijedi li zakon očuvanja mehaničke energije?

- Učenici će zaključiti da ne vrijedi.

Napišite zaključak svojim riječima što smo vidjeli u ovom pokusu.

Nastavnik poziva nekoliko učenika da pročitaju svoje zaključke.

Pokus 4

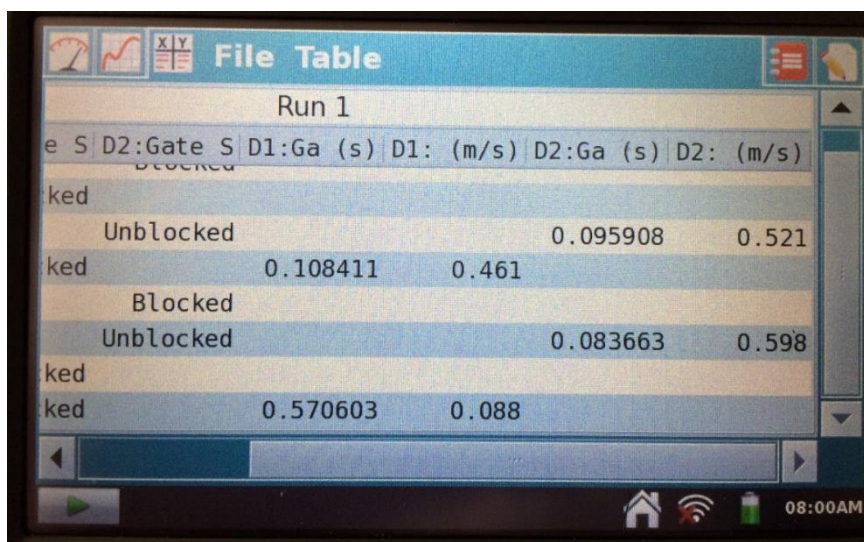
Vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja ako se prije sudara kolica A i B gibaju u suprotnim smjerovima?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Kako ćemo to provjeriti?

- Učenici predlažu da provjerimo pokusom.

Nastavnik poziva jednog učenika da gurne kolica u suprotnim smjerovima. Računalo samo izračunava brzine koje su prikazane na slici 4.8.



| Run 1 | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Blocked | D1:Ga (s) | D1: (m/s) | D2:Ga (s) | D2: (m/s) |
| Unblocked | | | 0.095908 | 0.521 |
| Blocked | 0.108411 | 0.461 | | |
| Unblocked | | | 0.083663 | 0.598 |
| Blocked | 0.570603 | 0.088 | | |

Slika 4.8: Rezultati mjerenja za slučaj kad se kolica gibaju jedna prema drugima

- Jedan učenik upisuje podatke u tablicu (tablica 4.1) na ploči, a ostali učenici upisuju u tablice u bilježnici. Učenici računaju ukupnu količinu gibanja prije i poslije sudara. Potrebno je naglasiti koji je smjer pozitivan i koje je značenje predznaka brzine.

Vrijedi li zakon očuvanja količine gibanja?

- Učenici komentiraju dobivene rezultate.

Je li sudar elastičan?

- Učenici uspoređuju ukupnu kinetičku energiju prije i poslije sudara.

Učenici komentiraju rezultate mjerenja.

Koliko je mehanička energija kolica prešla u druge oblike energije tijekom sudara?

- Učenici izračunavaju razliku ukupne energije prije i poslije sudara.

Pokus 5

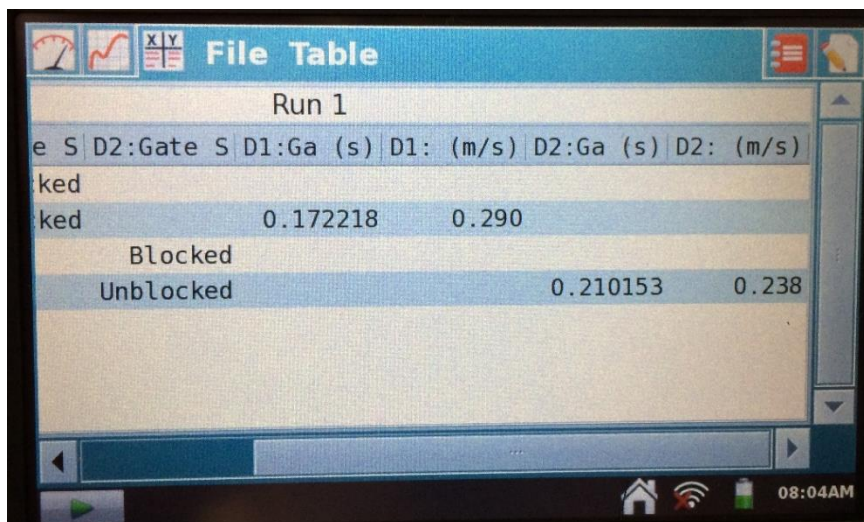
Što će se dogoditi kada se elastično sudare kolica iste mase?

- Učenici zapisuju svoje pretpostavke.

Nastavnik pozove nekoliko učenika da pročitaju svoje pretpostavke.

Nastavnik gurne jedna kolica koja se sudare s drugim kolicima iste mase koja miruju.

Računalo samo izračunava brzine koje su prikazane na slici 4.9.



| Run 1 | | | | | | |
|-------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | e S | D2:Gate S | D1:Ga (s) | D1: (m/s) | D2:Ga (s) | D2: (m/s) |
| ked | | | | | | |
| ked | | | 0.172218 | 0.290 | | |
| | | Blocked | | | | |
| | | Unblocked | | | 0.210153 | 0.238 |

Slika 4.9: Rezultati mjerenja za sudar kolica jednakih masa

- Jedan od učenika upisuje podatke u tablicu (tablica 4.1) na ploči, a ostali učenici upisuju u tablice u bilježnici.

Što ste primijetili?

- Kolica A su se zaustavila, a B su se počela gibati.

Kakva je brzina kolica A prije sudara u odnosu na brzinu kolica B poslije sudara?

- Brzine su im skoro jednake.

Što mislite zbog čega brzine nisu iste?

- Učenici iznose svoje ideje i opažanja.

Vrijedi li zakon očuvanja energije u ovom slučaju?

- Učenici komentiraju dobivene rezultate.

4.2. Rad, pretvorbe energije, zakon očuvanja energije

4.2.1. Pribor potreban za izvođenje pokusa

Za pokuse su nam potrebni senzor za silu, klupa, kolica, dvije opruge različite konstante elastičnosti, detektor gibanja, međusklop i računalo spojeno na projektor. Pribor je prikazan na slici 4.10, a eksperimentalni postav na slici 4.11. Oprugu ne treba sabijati preko pola duljine promjera jer inače nije u linearnom području. Senzor za silu treba postaviti na mjerno područje od 10 N.

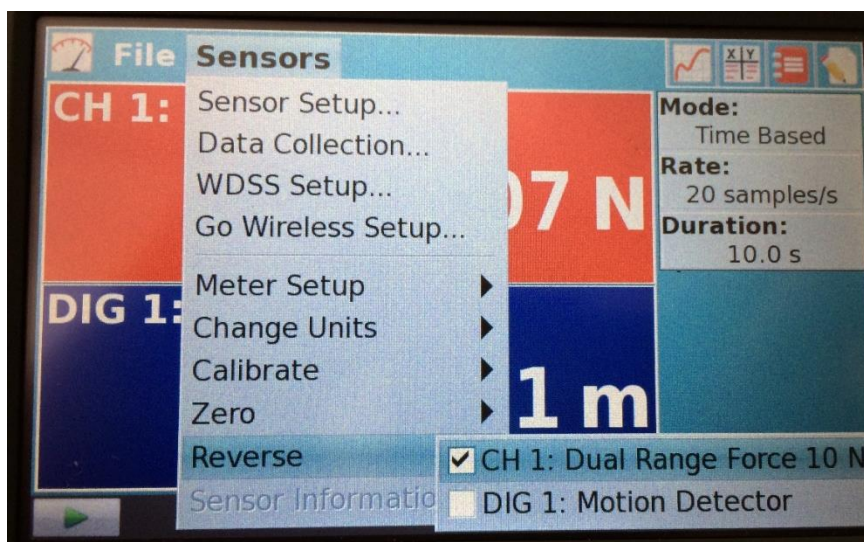


Slika 4.10: Pribor potreban za izvođenje pokusa



Slika 4.11: Eksperimentalni postav. Preuzeto iz [11].

U pokusu 1 sabijamo oprugu i pomoću detektora gibanja snimamo gibanje kolica. Za taj pokus preporuča se okrenuti pozitivni smjer mjerenja sile jer bi negativan iznos sile mogao zbunjivati učenike (slika 4.12).



Slika 4.12: Prikaz okretanja pozitivnog smjera mjerenja sile na računalu

U pokusu 2 prvo se sabije opruga i onda pusti kolica da se gibaju. Za brzinu se uzima najveća brzina jer se ona kasnije smanjuje zbog trenja. Za pokus 2 potrebno je okrenuti pozitivni smjer mjerenja i položaja i sile (slika 4.13).



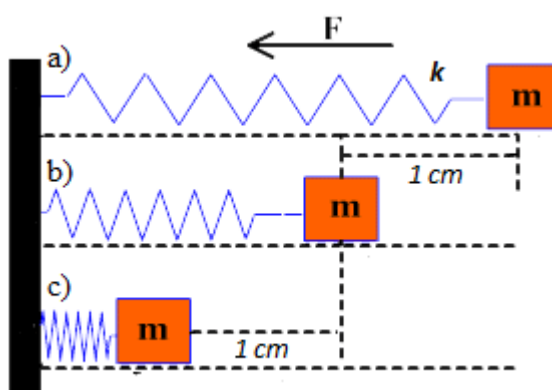
Slika 4.13: Prikaz okretanja pozitivnih smjerova mjerenja sile i položaja na računalu

U pokusu 3 nagne se klupa da bi postojala promjena u visini. Zanima nas promjena gravitacijske potencijalne energije od početnog trenutka kad sabijemo oprugu do trenutka kad se kolica zaustave. Pokus se radi s dvije opruge različite konstante elastičnosti.

Ovi pokusi mogu se koristiti kao aplikacijski, tj. kad su učenici već savladali koncept energije i zakon očuvanja energije.

4.2.2. Priprema za interaktivni sat

Uteg mase m spojen je na oprugu konstante k na podlozi bez trenja kao na slici 4.14a.



Slika 4.14: Uteg spojen na oprugu. Preuzeto iz [10].

O čemu ovisi rad na uteg ako počnemo sabijati oprugu?

- Učenici će zaključiti da rad ovisi o konstanti opruge i pomaku utega.

Uzimamo da je W_1 rad potreban da se opruga sabije za 1 cm (slika 4.14b), a W_2 rad potreban da se opruga sabije za još 1 cm (slika 4.14c).

U kakvom su odnosu W_1 i W_2 ?

- Učenici iznose svoje pretpostavke i ideje.

Kako to možete izračunati?

- Učenici računaju u svojim bilježnicama traženi omjer radova.

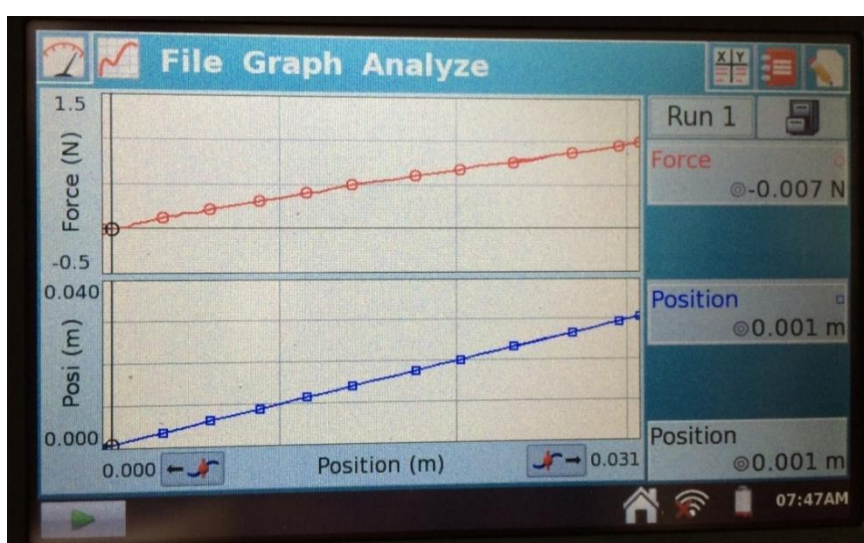
Nastavnik poziva nekoliko učenika da pročitaju svoje pretpostavke.

Pokus 1

Kako to možemo provjeriti? Koje veličine trebamo mjeriti?

- Učenici sami dolaze do zaključka koje su nam veličine potrebne i kako ih možemo mjeriti. Ako je potrebno, nastavnik objašnjava koji senzori se koriste i što oni mjere.

Nastavnik pomoću kolica sabije oprugu. Računalo samo crta $F - x$ koji je prikazan na slici 4.15.



Slika 4.15: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa

Koja sila djeluje na kolica prilikom sabijanja opruge? O čemu ona ovisi?

- Učenici se prisjećaju elastične sile koju su već prije obradili.

Koji graf trebamo crtati?

- $F - x$ ili $F - \Delta x$.

Kakva je ovisnost prikazana na grafu $F - x$?

- Linearna ovisnost.

Ako je potrebno, nastavnik s učenicima komentira razliku između $F - x$ i $F - \Delta x$ grafova. Treba objasniti da senzor možemo postaviti na $x = 0$.

Kako iz grafa $F - x$ možemo dobiti konstantu elastičnosti opruge?

- Učenici zaključuju da je konstanta elastičnosti opruge nagib pravca.

Možemo li sabijati oprugu koliko god želimo? Hoće li Hookov zakon pritom vrijediti?

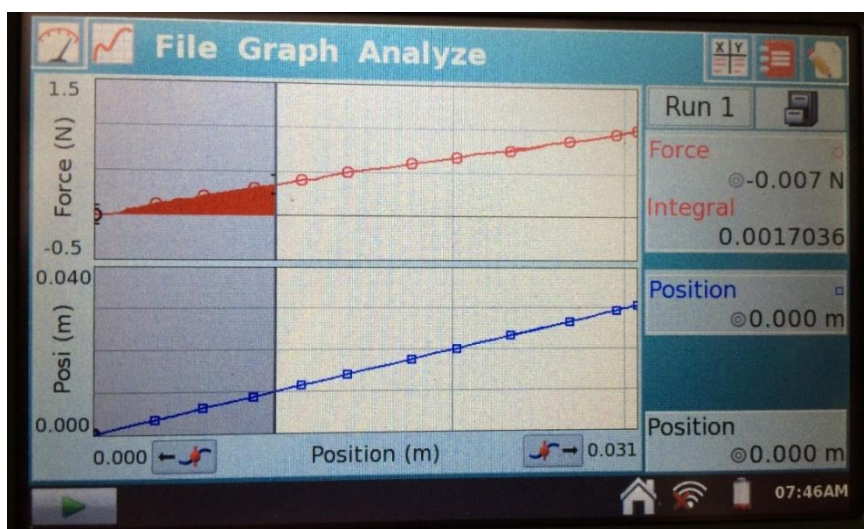
- Možemo, ali deformacija više nije linearna. Hookov zakon tada više neće vrijediti.

Što je površina ispod $F - x$ grafa?

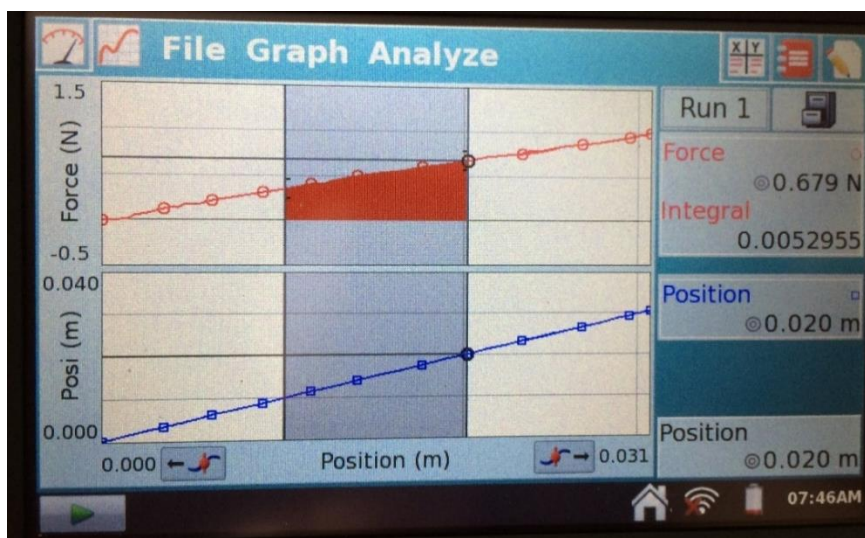
- Učenici se prisjećaju da je to rad.

Kako ćemo izračunati rad W_1 , a kako W_2 ?

- Učenici trebaju zaključiti da je potrebno izračunati dvije površine ispod $F - x$ grafa, prvu od 0 cm do 1 cm, a drugu od 1 cm od 2 cm (slike 4.16 i 4.17).



Slika 4.16: Izračunavanje rada potrebnog da se opruga sabije za 1 cm



Slika 4.17: Izračunavanje rada potrebnog da se opruga sabije za još 1 cm

- Učenici upisuju podatke u tablicu (tablica 4.2).

| Sabijanje | |
|------------------------|----------------|
| $\Delta x / \text{cm}$ | W / J |
| 1 | 0,0017 |
| 2 | 0,0053 |

Tablica 4.2: Primjer popunjena tablica

Kako se ti radovi odnose?

- $\frac{W_2}{W_1} \approx 3.1$

To je otprilike kao 3:1.

Je li to u skladu sa vašom pretpostavkom?

- Učenici iznose svoje zaključke. Ako je potrebno, raspravi se kako se računski dobije omjer $\frac{W_2}{W_1}$.

Pokus 2

Što će se dogoditi s kolicima kad pomoću njih sabijemo oprugu i pustimo ih?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Koje pretvorbe energije se događaju? Koji sustav i koja dva trenutka promatramo?

- Učenici raspravljaju o pretvorbama energije (rad na oprugu – elastična energija opruge – rad na kolica – kinetička energija kolica). Učenici zaključuju da promatramo sustav opruge i kolica, trenutak kad je opruga sabijena i kolica miruju i trenutak kad se opruga otpusti, i kolica imaju maksimalnu brzinu.

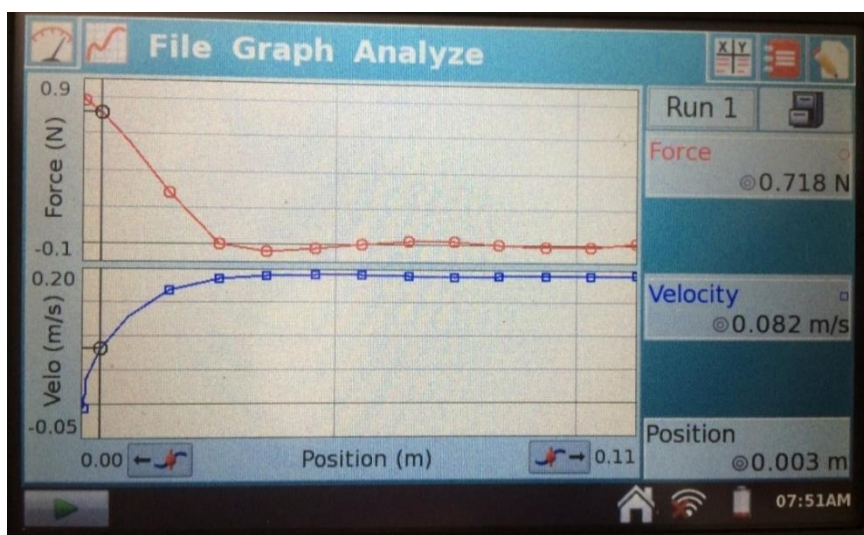
Skicirajte stupčaste dijagrame energije za ta dva trenutka.

- Učenici u svojim bilježnicama skiciraju stupčaste dijagrame energije.

Što i kako trebamo mjeriti da bi provjerili vrijedi li zakon očuvanja energije?

- Učenici osmišljavaju pokus.

Nastavnik sabije oprugu te potom pusti kolica da se gibaju. Računalo samo crta $F - x$ i $v - t$ grafove prikazane na slici 4.18.



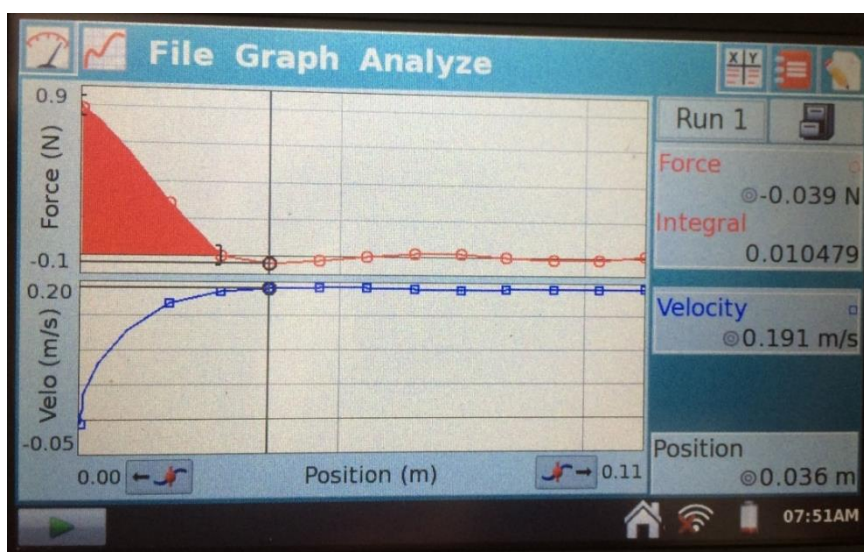
Slika 4.18: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa 2

Kako ćemo odrediti rad koji je opruga izvršila na kolica?

- Rad je površina ispod $F - x$ grafa.

Nastavnik pomoću računala odredi površinu ispod $F - x$ grafa kako je prikazano na slici 4.19.

$$W = 0,0105 \text{ J}$$



Slika 4.19: Prikaz izračunatog rada elastične sile

Koje su nam veličine potrebne za određivanje kinetičke energije? Kako ćemo ih izmjeriti?

- Potrebno je odrediti masu i brzinu jer je $E_k = \frac{mv^2}{2}$.

Nastavnik pozove učenika da izmjeri masu kolica.

Koju ćemo brzinu uzeti za brzinu kolica?

- Učenici zaključuju da trebaju uzeti najveću izmjerenu brzinu.

Zašto ta brzina nije stalno ista?

- Brzina nije ista jer postoji trenje.
- Učenici izračunavaju kinetičku energiju.

$$m = 0,514 \text{ kg}$$

$$v = 0,191 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_k = 0,0094 \text{ J}$$

Što možemo zaključiti iz naših mjerenja?

- Učenici zaključuju da su rad i kinetička energija kolica približno jednaki, tj. da vrijedi zakon očuvanja energije.

Kolika je relativna pogreška mjerenja?

- Učenici računaju relativnu pogrešku mjerenja.

$$R = \frac{0,010 - 0,009}{0,010} = 1\%$$

Zašto rad koji je opruga napravila nije jednak kinetičkoj energiji kolica?

- Učenici raspravljaju o mogućim razlozima „gubitka“ energije.

Pokus 3

Što će se dogoditi kad klupu nagnemo i ponovimo prethodni pokus s oprugom i kolicima?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Nacrtajte stupčaste dijagrame energije za trenutke kad sabijemo oprugu pomoću kolica i kad se kolica zaustave?

- Učenici skiciraju stupčaste dijagrame energije u svoje bilježnice.

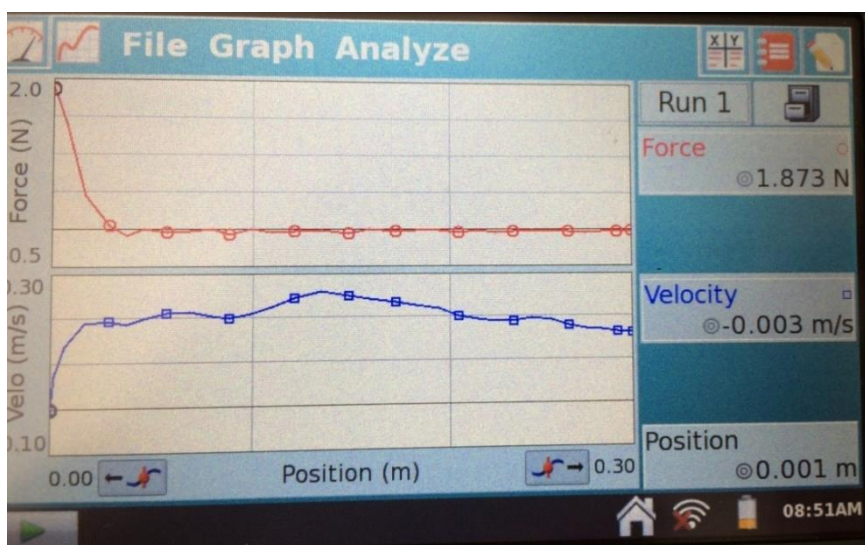
Kako bi to mogli provjeriti?

Što i kako trebamo mjeriti?

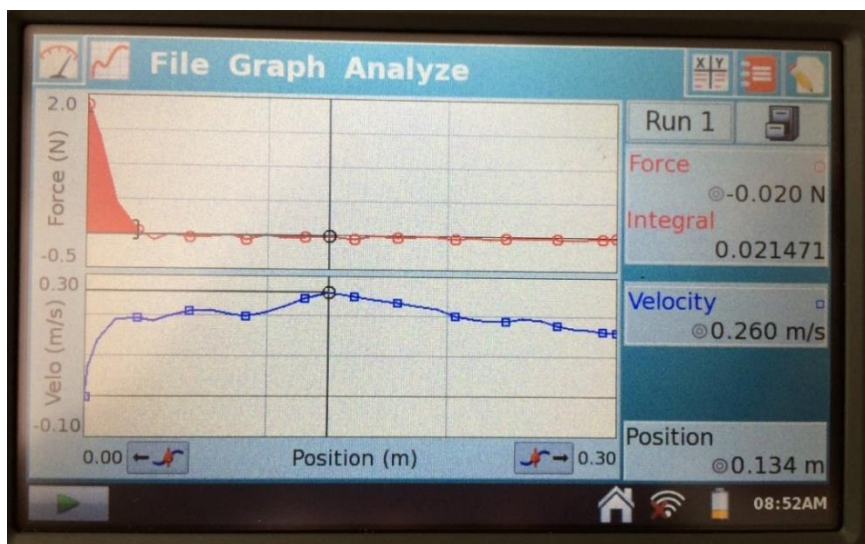
- Učenici osmišljavaju pokus. Klupa se podigne. Oprugu sabijemo pomoću kolica i pustimo ih da se gibaju.

- Jedan od učenika bilježi gdje su se kolica zaustavila. Drugi učenik očitava početnu visinu na kojoj su se kolica nalazila i konačnu visinu.

Na računalu se izračuna površina ispod $F - x$ grafa, što je zapravo rad opruge na kolica (slike 4.20 i 4.21).



Slika 4.20: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa 3 za oprugu konstante elastičnosti 1



Slika 4.21: Prikaz izračunatog rada elastične sile za oprugu konstante elastičnosti 1

Nastavnik prvo nacrtava tablicu s jednim stupcem, a kasnije dodaje još jedan stupac.

| | Opruga konstante elastičnosti 1 | Opruga konstante elastičnosti 2 |
|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| m_k / kg | 0,514 | 0,514 |
| W/J | 0.021 | 0,013 |
| $\Delta h/m$ | 0,004 | 0,003 |
| $\Delta E_{gp}/J$ | 0,025 | 0,015 |

Tablica 4.3: *Primjer popunjene tablice za pokus 3*

- Učenici u bilježnicu pišu koliki je rad izvršen na kolica te računaju kolika je promjena gravitacijske potencijalne energije kolica.

$$W_1 = 0,021 \text{ J}$$

$$m_k = 0,514 \text{ kg}$$

$$\Delta h = 0,004 \text{ m}$$

$$\Delta E_{gp1} = mg\Delta h$$

$$\Delta E_{gp1} = 0,020 \text{ J}$$

Što možemo zaključiti iz naših mjerenja?

- Možemo zaključiti da su rad na uteg i promjena gravitacijske potencijalne energije približno jednaki, tj. da vrijedi zakon očuvanja energije.

Zašto rad i promjena gravitacijske potencijalne energije nisu jednaki?

- Dio energije se „potroši“ na trenje.

Odredite koliko se energije utrošilo na trenje.

- Učenici računaju u svoje bilježnice.

$$\Delta E = 0,021 \text{ J} - 0,020 \text{ J} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Kolika je relativna pogreška mjerenja?

- Učenici računaju pogrešku mjerenja.

$$R = \frac{0,021 - 0,020}{0,021} = 5\%$$

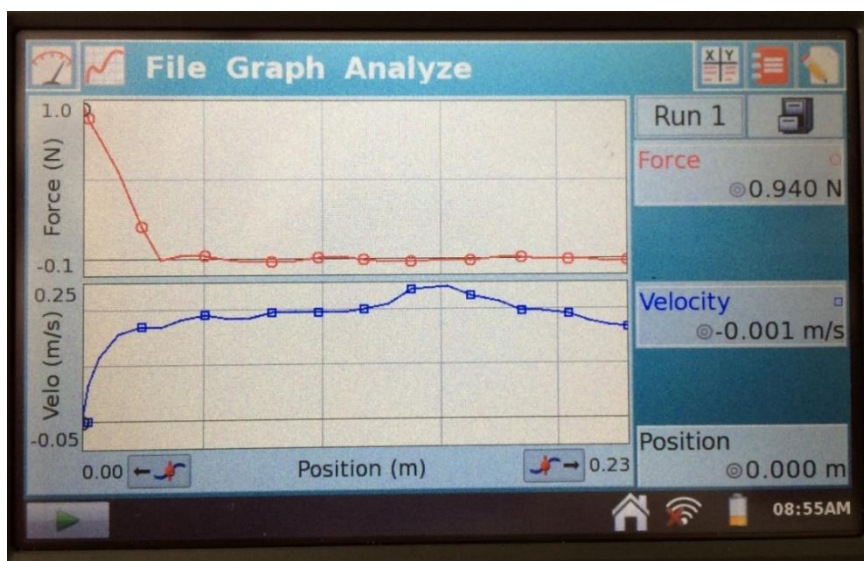
Što će se dogoditi ako umjesto ove opruge upotrijebimo oprugu drukčije konstante elastičnosti?

- Učenici iznose svoje ideje.

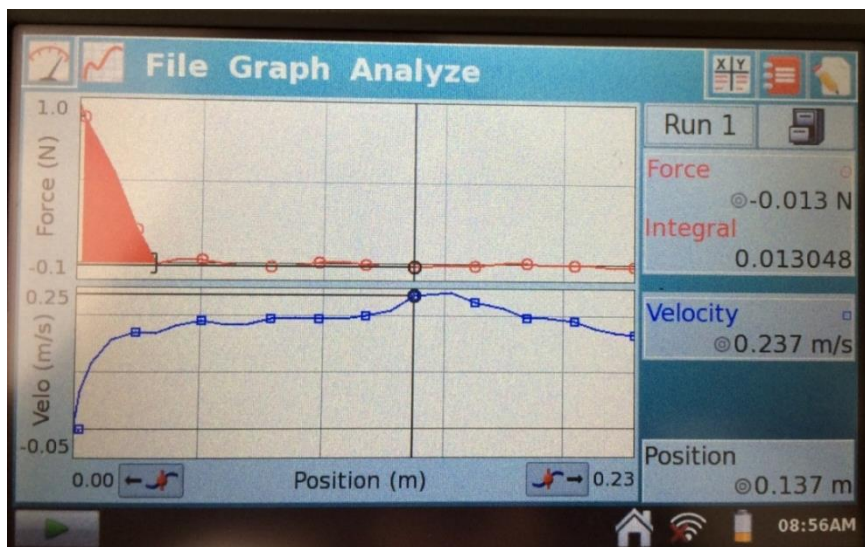
Hoće li se visine do kojih će doći kolica razlikovati?

- Učenici iznose svoje pretpostavke.

Nastavnik ponavlja isti pokus, ali s drugom oprugom (slike 4.22 i 4.33). Učenici upisuju rezultate mjerenja u tablicu (tablicu 4.3).



Slika 4.22: Prikaz sučelja nakon izvođenja pokusa 3 za oprugu konstante elastičnosti 2



Slika 4.23: Prikaz izračunatog rada elastične sile za oprugu konstante elastičnosti 2

- Učenici uspoređuju rezultate mjerenja za dvije različite opruge.

Poglavlje 5

Osvrti na održane satove i zaključak

Nastavne satove s pokusima iz četvrtog poglavlja ovog diplomskog rada održala sam u jednoj zagrebačkoj prirodoslovno-matematičkoj gimnaziji u svibnju ove godine. Pokuse sam izvela u dva prva razreda. Učenici su već obradili rad, pretvorbe energije, zakon očuvanja energije i sudare, pa su pokusi bili zapravo aplikacijski. Sve pokuse sam izvodila demonstracijski. Satovi su održani tijekom tri dana. Školska laborantica mi je pomogla prilikom prenošenja opreme iz razreda u razred. Bila mi je potrebna kamera da mogu projicirati rezultate mjerenja s međusklopa na projektor da budu vidljivi cijelom razredu.

Prvi sat sam izvodila pokuse sa sudarima. Kao što sam i očekivala, učenike je zainteresirala nova opreme koju još nisu vidjeli. Na početku sam učenicima objasnila što od opreme imam i na kojem principu uređaji mjere. Kako su učenici već prošli ovo gradivo, očekivala sam da će im zaključivanje ići puno brže i lakše. Učenike sam pitala za predviđanja prije izvođenja pokusa i iz nekih njihovih odgovora činilo mi se kao da nisu potpuno usvojili neke pojmove vezani uz sudare. Na primjer, učenici uopće nisu znali što je neelastičan sudar, spominjali su samo potpuno neelastičan sudar. Mjerenja su bila dosta precizna. Računalo je samo izračunavalo brzinu što je dosta praktično jer bi se inače dosta vremena potrošilo na to da učenici računaju brzinu što nije cilj ovog sata. Rezultate mjerenja smo upisivali u tablicu. Planirala sam pet različitih mjerenja i sve smo stigli

napraviti u jednom školskom satu. Stigli smo i komentirati sve rezultate mjerenja. Mislim da se bez računala ne bi stiglo napraviti toliki broj mjerenja jer bi značajno više vremena bilo potrošeno na obradu podataka.

Drugi sat sam izvodila pokuse s energijom, pretvorbom energije i radom. Na početku sata sam pred učenike postavila problem i tražila od njih da računski dođu do rješenja. Pitala sam učenike kako se odnose radovi, kad oprugu sabijemo za 1 cm i kad zatim sabijemo za još 1 cm. Učenici su pokušavali riješiti zadatak u bilježnicama. Dosta učenika je imalo problema s povezivanjem rada i promjene energije. Potom sam učenicima pokazala opremu koju imam i objasnila kako što koji uređaj mjeri te izvela pokus. Pozvala sam jednog učenika da na računalu pritisne ikonu za početak pokusa kako bi računalo počelo prikupljati podatke, dok sam ja pomoću kolica sabijala oprugu. Pomoću računala smo jednostavno izračunali površinu ispod $F - x$ grafa, pri čemu sam s učenicima kratko raspravila značenje te površine. Dobiveni smo rezultat usporedili s rješenjima koje su učenici dobili rješavajući uvodni zadatak. Nakon toga smo izvodili pokus u kojem se rad opruge pretvori u kinetičku energiju. Prije izvođenja sam pitala učenike za pretpostavku. Jedan učenik mi je pomogao oko izvođenja pokusa. S učenicima je bilo bitno prokomentirati koju brzinu trebamo očitati, to jest da očitavamo najveću brzinu jer se kasnije brzina smanjuje zbog trenja. Učenici su zaključili da im za izračunavanje kinetičke energije još potrebna masa kolica te su je sami izmjerili pomoću digitalne vage. U zadnjem pokusu se rad opruge pretvori u gravitacijsku potencijalnu energiju. Mjerenje smo uspjeli napraviti samo za jednu oprugu te su učenici uspjeli izračunati potrebne vrijednosti energije i usporediti ih.

Drugi dan sam opet izvodila pokuse s radom, pretvorbama energije i zakonom očuvanja energije, samo s drugim učenicima. Taj put sam imala tehničkih problema s kamerom pa nisam uspjela projicirati mjerenja na projektor. To je otežalo izvođenje cijelog sata. Učenike sam morala nakon svakog mjerenja zvati da vide što smo dobili na malom zaslonu međusklopa, što je jako usporilo tijek sata. U ovom razredu su učenici trebali puno više vremena za izračunavanje odnosa radova za sabijanje opruge za 1 cm i onda još 1 cm. Zamolila sam jednog učenika za pomoć kod izvođenja pokusa. Mjerenja su bila precizna.

Idući pokus, u kojem računamo koliko se rada opruge pretvorilo u kinetičku energiju kolica, sam izvela također uz pomoć učenika. Zadnji planirani pokus smo uspjeli napraviti, ali nismo uspjeli obraditi podatke. Uzevši u obzir da su se učenici nakon svakog mjerenja morali ustajati i dolaziti do mog stola da bi očitali rezultate mjerenja, mislim da smo stigli napraviti dosta mjerenja.

Treći dan sam izvodila ponovno sat sa sudarima. Problem s kamerom sam riješila te sam učenicima opet podatke mogla projicirati. Ovaj razred je značajno bolje usvojio prijašnje gradivo tako da je sat tekao dosta brzo. Učenici su iznosili dobre pretpostavke i sva mjerenja smo stigli diskutirati. S ovim učenicima sam odvojila više vremena na diskutiranje greške kod mjerenja te kako rezultat mjerenja nije samo broj nego cijeli interval. Stigli smo provesti svih pet predviđenih mjerenja.

Nakon satova održanih u školi, uviđam da korištenje računala u pokusima podiže kvalitetu nastave. Na satu se stiže napraviti više pokusa, također je moguće napraviti više mjerenja i obraditi više podataka, tako da učenici ne zaključuju samo na osnovi jednog izvedenog pokusa. Također je moguće izvoditi pokuse koje bi bez računala bilo komplicirano provesti ili bi oduzimalo previše vremena. Na primjer, računalo nam vrlo brzo izračunava srednju brzinu, dok bi inače učenici morali to izračunavati pomoću trakica ili na neki drugi način, koji bi oduzeo dosta vremena. Računalo nam omogućava da se tijekom sata skoncentriramo na ono što je cilj sata, a ne da se vrijeme gubi na neke tehničke detalje. U razgovoru s nekim nastavnicima u školi, sam stekla dojam da su nastavnici prilično skeptični oko upotrebe tehnologije prilikom izvođenja pokusa. Naravno da tehnologija može otežati izvođenje sata, kao što je na primjer bio slučaj kad kamera koja treba projicirati rezultate nije radila. Zbog toga je bitno da se tehnički dio dobro provjeri prije izvođenja pokusa. Učenici su bili oduševljeni korištenjem moderne tehnologije tijekom izvođenja pokusa te su bili zainteresiraniji za sat te samim tim aktivniji. Mislim da ni s računalima u pokusima ne treba pretjerivati jer bi postali učenicima dosadni, a ima pokusa koji su dosta efektni i bez uporabe računala.

Računala se sve češće koriste u nastavi fizike. Samo računalo neće povećati kvalitetu nastave, ako se ne koristi interaktivno. Učenici su se u svakodnevnom životu

navikli služiti računalima te da bi lakše zadobili učeničku pažnju možemo koristiti računala i u pokusima. Računala u pokusima su se pokazali praktičnima jer olakšavaju prikupljanje i analizu podataka. Također je povećana preciznost mjerenja koja se nije mogla postići standardnom opremom.

Izvođenjem pokusa pomoću računala i senzora u praktikumu, ali i u razredu, uočila sam brojne prednosti koje nam pruža računalo. Računalo odrađuje dio posla koji su prije učenici sami morali raditi, a koji nije u fokusu pokusa. U pokusima računalo samo crta grafove, izračunava površinu ispod grafa, računa brzinu i tome slično. Na taj način je skraćeno vrijeme obrade podataka i učenici trenutno dobivaju povratne informacije. Upotrebom računala, produžuje se vrijeme za diskusiju i na taj način nastavnik dobiva povratne informacije o razini razumijevanja svojih učenika. U pokusu sa silom trenja, mjerenja su toliko precizna da učenici dobivaju graf kao u svojim udžbenicima. Računala i senzori pružaju brojne mogućnosti za učeničko samostalno istraživanje. Učenici ih mogu uzeti kući, u tramvaj, na igralište ili u lunapark. U takvim istraživanjima učenici će vidjeti da su stvarni problemi puno složeniji od pojednostavljenih teorijskih modela. Učenici vole kad se povezuje gradivo koje uče u školi sa svakodnevnim životom.

Mislim da bi svaka škola trebala nabaviti pribor koji je korišten u pokusima. Cijena cijelog eksperimentalnog postava korištenog u pokusima je 16 000 kuna. Uzevši u obzir sve prednosti, mislim da cijena nije prevelika. Jednom kad se kupi sav potrebni pribor on se može godinama koristiti. Eksperimentalni postav se također može nadograđivati novim sensorima. Na taj način bi se podigla kvaliteta nastave fizike u školama. Cilj je da u budućnosti svaka skupina učenika ima jedan ovakav pribor. Na taj bi način učenici sami istraživali, opažali nove pojave i donosili zaključke. Ova oprema olakšala bi izvođenje pokusa, a učenici bi bili skoncentrirani na razumijevanje temeljnih koncepata što i jest cilj poučavanja fizike.

Bibliografija

- [1] F. Esquembre, *Computers in Physics Education*, Comput. Phys. Commun. 147 (2002), 13–18.
- [2] D. Hestenes, M. Wells, G. Swackhammer, *Force concept inventory*, Phys. Teach. 30 (1992), 141–158.
- [3] E. F. Redish, J. M. Saul, R. N. Steinberg, *On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories*, Am. J. Phys. 65 (1997), 45–54.
- [4] D. W. A. Russell, *Computers in physics instruction: Student's inreractions in a constructivist microcomputer-based laboratory*, Doctoral Thesis, 2002.
- [5] R. K. Thornton, D. R. Sokoloff, *Learning motion concept using real-time microcomputer-based laboratory tools*, Am. J. Phys. 58 (1990), 858–867.
- [6] R. K. Thornton, D. R. Sokoloff, *Assessing student learning of Newton's laws: The Force and Motion Conceptual Evaluation and the Evaluation of Active Learning Laboratory and Lecture Curricula*, Am. J. Phys. 66 (1998), 338–352.
- [7] S. G. Tomshaw, *An Investigation of the Use of Microcomputer-Based Laboratory Simulations in Promoting Conceptual Understanding in Secondary Physics Instruction*, Doctoral Thesis, 2006.
- [8] R. Trumper, M. Gelbman, *What Are MBLs for? An Example from Introductory Kinematics*, J. Comput. Math. Sci. Teach. 21 (2002), 207–227.

[9] R. Trumper, *The Physics Laboratory – A Historical Overview and Future Perspectives*, Sci. Educ. – Netherlands 12, (2003), 645–670.

[10] Uteg na opruzi, dostupno na http://www.citycollegiate.com/shm_XIc.htm/ (lipanj 2016.).

[11] Vernierova službena stranica, dostupno na <http://www.vernier.com/experiments/> (lipanj 2016.).

Prilozi

Prilog 1: Popis i kratak opis pribora korištenog u pokusima

Međusklop (*Vernier LabQuest[®] 2*)

Međusklop ima utore za različite senzore koji omogućuju prikupljanje podataka koji se analiziraju i grafički prikazuju pomoću ugrađene aplikacije (slika 7.1). Veliki ekran na dodir s visokom rezolucijom, čini ga jednostavnim za prikupljanje, analizu i dijeljenje podataka pokusa. Može se koristiti samostalno ili u kombinaciji s računalom ili mobitelom. Za demonstracijske pokuse opisane u ovom diplomskom radu potrebno je projicirati rezultate mjerenja i dobivene grafove pomoću kamere ili koristeći *Logger Pro* softver instaliran na računalu.



Slika 7.1: Međusklop. Preuzeto iz [11].

Klupa (*Track System*)

To je staza (slika 7.2) po kojoj se kreću kolica. Na klupi je trenje svedeno na minimum. Klupa sa strane ima brojne utore na koje se može spojiti ostali pribor potreban za izvođenje pokusa. Uz klupu dolazi odbojnik koji se pričvrsti na jednom kraju klupe. Na klupi se nalazi i mjerna traka koja je korisna za mjerenje udaljenosti kod nekih pokusa.



Slika 7.2: Klupa. Preuzeto iz [11].

Kolica (*Standard and Plunger Cart*)

Postoje dvije vrste kolica: kolica sa standardnim završetkom (slika 7.3) i kolica s elastičnim klipom (slika 7.4). Kolica imaju kuglične ležajeve koji smanjuju trenje. Uz kolica dolaze magneti koji se mogu staviti prilikom sudara ili se na kolica može zalijepiti čičak da bi se ona spojila prilikom sudara. Na kolica se mogu spojiti različiti senzori i uteg za povećanje mase.



Slika 7.3: Standardna kolica. Preuzeto iz [11].



Slika 7.4: Kolica s elastičnim klipom. Preuzeto iz [11].

Detektor gibanja (*Motion detector*)

Detektor gibanja (slika 7.5) koristi ultrazvuk za mjerenje položaja različitih objekata. Objekti čiji se položaj mjeri trebaju biti na udaljenosti između 15 cm i 6 m od detektora. Detektor gibanja se lako spaja na klupu prilikom raznih pokusa. Može se staviti u dva moda; za snimanje položaja kolica i za snimanje položaja čovjeka ili lopte. Prikladna osjetljivost smanjuje šum i daje dobre rezultate pokusa. Pokretljiva glava omogućava fleksibilnost u izvođenju pokusa.



Slika 7.5: Detektor gibanja. Preuzeto iz [11].

Senzor za silu (*Dual-Range Force Sensor*)

Senzor za silu (slika 7.6) mjeri sile guranja i vučne sile. Mjerno područje senzora za silu je od 0,01 do 50 N. Osjetljivost se može namjestiti na 10 N ili 50 N. Nastavci se mogu mijenjati, može se koristiti kukica, opruga, magnetski i čvrsti završetak. Kolica se mogu spojiti na klupu.



Slika 7.6: Senzor za silu. Preuzeto iz [11].

Svjetlosna vrata (*Photogate*)

Svjetlosna vrata (slika 7.7) koriste infracrveni snop koji se prekida kada neki objekt prolazi kroz vrata. Služe za precizno mjerenje vremena u raznim pokusima u mehanici. Ako se znaju dimenzije objekta koji prolazi kroz svjetlosna vrata, jednostavno se određuje njegova brzina. Mogu se spojiti do 4 svjetlosna vrata u seriju, tako da se samo jedna spoje na računalo te se tako štede utori za druge senzore. Svjetlosna vrata se mogu spojiti i na klupu.



Slika 7.7: Svjetlosna vrata. Preuzeto iz [11].

Letva (*Picket Fence*)

Plastična letva (slika 7.8) se sastoji od zatamnjениh i prozirnih dijelova. Kroz zatamnjени dio ne može proći infracrveni snop od svjetlosnih vrata. Prilikom prolaska letve kroz svjetlosna vrata više puta se prekida snop i mjeri vrijeme prolaska zatamnjениh dijelova. Iz tih mjerenja može se odrediti položaj i brzina letve. Kako ima više zatamnjениh i prozirnih dijelova dobiva se dovoljno točkaka za crtanje grafova.



Slika 7.8: Letva. Preuzeto iz [11].

Letva za kolica (*Cart Picket Fence*)

Letva za kolica (slika 7.9) radi na istom principu kao i obična letva, samo je manja i može se spojiti na kolica. Sastoji se od dva dijela; prvi je isti kao i kod letve (niz prozirnih i zatamnjениh dijelova), a na drugom dijelu ima samo jedan zatamnjени dio dugačak 5 cm. Taj dio se može koristiti ako je brzina kolica stalna.



Slika 7.9: Letva za kolica. Preuzeto iz [11].

Podloga s trenjem (*Friction Pad*)

Podloga (slika 7.10) se spoji na kolica i time se povećava trenje ukoliko je trenje potrebno za izvođenje pokusa. Trenje se jednostavno namješta pomoću crnog kotačića na vrhu.



Slika 7.10: Podloga s trenjem. Preuzeto iz [11].

Odbojnik i uređaj za lansiranje (*Bumper and Launcher Kit*)

Uređaj se spoji na klupu. Služi kao odbojnik ili uređaj za lansiranje (slika 7.11). Uz njega dolaze dvije opruge različite konstantne elastičnosti te različiti završetci za istraživanje elastičnih i neelastičnih sudara.



Slika 7.11: Odbojnik i uređaj za lansiranje. Preuzeto iz [11].

Kolotur (*Ultra Pulley Attachment*)

Kolotur (slika 7.12) se može spojiti na klupu i preko njega se prebaci nit na kojoj je uteg. Kolotur smanjuje trenje prilikom izvođenja pokusa.



Slika 7.12: Kolotur. Preuzeto iz [11].

Akcelerometar (*25-g Accelerometer*)

Akcelerometar (slika 7.13) koristi integrirani krug koji je dizajniran za kontrolu otpuštanja zračnog jastuka u automobilu. Unutar akcelerometra se nalazi kondenzator čije se ploče savinu kad tijelo akcelerira i na taj način se mijenja napon. Pomoću napona mjerimo kolika je akceleracija. Uređaj može mjeriti akceleracije od -250 ms^{-2} do 250 ms^{-2} . Unutarnji šum akcelerometra je reda veličine $2,5 \text{ ms}^{-2}$, zbog čega je ovaj uređaj pogodan za mjerenje

većih akceleracija kao što su akceleracije prilikom sudara, polijetanja aviona, lansiranja raketa i sl.



Slika 7.13: Akcelerometar. Preuzeto iz [11].

Sažetak

Brojna edukacijska istraživanja pokazala su da je interaktivna nastava vrlo učinkovita u razvijanju konceptualnog razumijevanja fizike. Pokusi mogu biti vrlo korisni za aktivno uključivanje učenika u nastavni proces. U posljednje vrijeme se sve više koriste računala u pokusima. Korištenje računalnih programa olakšava prikupljanje i analizu podataka, a učenici se mogu koncentrirati na razumijevanje fizikalnih koncepata i razvoj znanstvenog načina razmišljanja što su glavni ciljevi njihovog istraživanja. Računala u pokusima usmjeravaju učenike na istraživanje fizikalnih zakona, daju im trenutnu povratnu informaciju, potiču suradnju te omogućuju učenicima aktivno sudjelovanje u istraživanju čime produbljuju njihovo razumijevanje.

Cilj ovog diplomskog rada bio je razviti interaktivne nastavne materijale uz pokuse s računalima iz mehanike. Odabrani su pokusi iz mehanike jer je mehanika temeljna disciplina u fizici. U radu je obrađena kinematika, Newtonovi zakoni, sila trenja, impuls sile te zakoni očuvanja količine gibanja i energije. Dio materijala i pokusa testiran je u školi. Iskustvo iz škole pokazalo je brojne prednosti korištenja računala u pokusima, kao što su brza i precizna mjerenja te mogućnost izvođenja pokusa koji nisu bili ostvarivi sa standardnom opremom. Učenici su bili oduševljeni korištenjem moderne tehnologije tijekom izvođenja pokusa te su bili zainteresirani za sat te samim tim aktivniji. Ideja je da ovaj diplomski rada bude pomoć sadašnjim i budućim nastavnicima u pripremanju za interaktivno izvođenje nastave.

Summary

Numerous educational studies have shown that interactive teaching is very effective in developing a conceptual understanding of physics. Experiments can be very useful for active involving students in the teaching process. Recently, the computers are increasingly used in experiments. Using computer programs facilitates data collection and analysis so that students can concentrate on understanding physical concepts and developing scientific reasoning that are the main aim of their enquiry. Computers in experiments direct students to investigation of physical laws, give them immediate feedback, encourage collaboration, and enable active participation of students in research that deepens their understanding.

The aim of this diploma thesis was to develop interactive teaching materials for experiments with computers in mechanics. The experiments are selected from mechanics because the mechanics is fundamental discipline in physics. The thesis deals with kinematics, Newton's laws, friction, impulse, and the laws of conservation of momentum and energy. The part of materials and experiments were tested in school. The experience from school has shown numerous benefits of using computers in experiments, such as fast and precise measurements, and possibility to perform experiments that were not feasible with standard equipment. Students were enthusiastic about using modern technology during the performance of experiments and they were interested in class and therefore more active. The intention is that this diploma thesis helps pre-service and in-service teachers in the preparation for interactive teaching.

Životopis

Nikolina Svoboda rođena je 26.7.1992. u Zagrebu. S nenavršene dvije godine seli u Novu Mokošicu, mjesto pored Dubrovnika.

Od 1999. do 2007. pohađala Osnovnu školu „Mokošica“. Nakon završetka osnovne škole, upisuje srednju školu „Gimnazija Dubrovnik“, općeg usmjerenja. 2008. završila tečaj brzog čitanja „Power reading“. 2009. pozvana na državno natjecanje iz klasičnih jezika, latinski jezik.

Maturirala 2011. godine, nakon čega seli u Zagreb. Iste godine, upisuje Integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij Matematika i fizika; smjer: nastavnički, na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.